



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 201 22 595 U1** 2006.08.24

(12)

## Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **201 22 595.6**  
(22) Anmeldetag: **26.11.2001**  
(67) aus Patentanmeldung: **101 57 895.4**  
(47) Eintragungstag: **20.07.2006**  
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **24.08.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B23K 26/02** (2006.01)

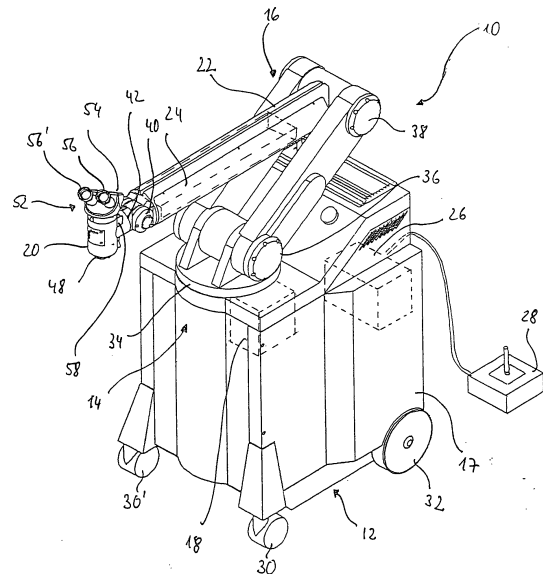
(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:  
**Alpha Laser GmbH, 82178 Puchheim, DE**

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:  
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Laserbearbeitungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem Laserbearbeitungskopf (20), mit dem ein Laserstrahl auf einen zu bearbeitenden Werkstückbereich lenkbar ist, einer Beobachtungseinrichtung (52) zur Erzeugung einer Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs entlang einer mit der Orientierung des Laserbearbeitungskopf (20) gekoppelten Blickrichtung, die eine mit dem Laserbearbeitungskopf (20) gekoppelte richtungsdefinierende Einrichtung (56, 56') aufweist, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen, die nicht parallel zur Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf (20) abgegebenen Laserstrahls sind, definierbar sind, einer Positionierungseinrichtung (14; 68, 70, 74) zur relativen Positionierung des Laserbearbeitungskopfes (20) und eines Werkstück (74) zueinander mit einer Antriebseinrichtung (18, 70), und einer Steuereinheit (26, 72) zur Steuerung der Antriebseinrichtung (18, 70) in Abhängigkeit von wenigstens einer der Bezugsrichtungen zugeordneten Steuereingaben einer Bedienperson über ein mit der Steuereinheit (26, 72) verbundenes Eingabegerät (28).



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Laserbearbeitungsvorrichtung.

**[0002]** Die Bearbeitung von Werkstücken mit Lasern ist grundsätzlich bekannt. So lassen sich Werkstückoberflächen mit einem Laser härten oder es können Werkstücke mit einem Laserstrahl geschnitten oder geschweißt werden. Hierzu wird der Laserstrahl relativ zu dem Werkstück bewegt. Die Relativbewegung kann dabei durch Bewegung des Werkstücks oder auch durch Bewegung eines Laserbearbeitungskopfes bewirkt werden, der dazu dient, Laserlicht auf ein zu bearbeitendes Werkstück zu lenken.

**[0003]** Bei bestimmten Typen der Bearbeitung wird der Laserbearbeitungskopf manuell von einer Bedienperson gesteuert, wozu die Bedienperson den zu bearbeitenden Werkstückbereich durch eine Beobachtungseinrichtung beobachtet. Insbesondere beim Auftragsschweißen, bei dem ein Schweißdraht über die zu bildende Schweißnaht geführt werden muss, ist diese Beobachtung des zu bearbeitenden Werkstückbereichs für die Bildung einer guten Schweißnaht essentiell.

**[0004]** Es ist denkbar, dass der Laserbearbeitungskopf nicht mit der Hand bewegt wird, sondern über entsprechende Stellantriebe, die entsprechend Eingaben eines Benutzers über ein Eingabegerät, beispielsweise einen Steuerknüppel bzw. Joystick gesteuert werden. Grundsätzlich wäre es dann möglich, als Bezugsrichtungen für die Steuerung ein raumfestes Koordinatensystem zu verwenden. Dies hätte jedoch den Nachteil, dass eine Bedienperson, die durch die Beobachtungseinrichtung, beispielsweise ein Mikroskop, blickt, leicht die Orientierung verlore, womit ein präzises Schweißen erheblich erschwert würde.

**[0005]** Es wäre bei kleinen Werkstücken auch denkbar, statt des Laserbearbeitungskopfs das Werkstück zu bewegen. Dabei treten jedoch grundsätzlich die gleichen Probleme auf, wie der Bewegung des Laserbearbeitungskopfs. Darüber hinaus muss das Werkstück gegenüber dem dann fest montierten Laser in eine für das Schweißen geeignete Orientierung gebracht werden, was eine aufwendigere Werkstückhalterung erfordert.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Laserbearbeitungsvorrichtung bereitzustellen, die eine einfache und genaue relative Positionierung eines Laserbearbeitungskopfes bzw. eines davon abgegebenen Laserstrahls zu einem Werkstück ermöglicht.

**[0007]** Die Aufgabe wird gelöst durch eine Laserbe-

arbeitungsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung umfasst einen Laserbearbeitungskopf, mit dem ein Laserstrahl auf einen zu bearbeitenden Werkstückbereich lenkbar ist, eine Beobachtungseinrichtung zur Erzeugung einer Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs entlang einer mit der Orientierung des Laserbearbeitungskopfs gekoppelten Blickrichtung, die eine mit dem Laserbearbeitungskopf gekoppelte richtungsdefinierende Einrichtung aufweist, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen, die nicht parallel zur Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf abgegebenen Laserstrahls sind, definierbar sind, eine Positionierungseinrichtung zur relativen Positionierung des Laserbearbeitungskopfes und eines Werkstücks zueinander mit einer Antriebseinrichtung zur Positionierung, und eine Steuereinheit zur Steuerung der Antriebseinrichtung in Abhängigkeit von wenigstens einer der Bezugsrichtungen zugeordneten Steuereingaben einer Bedienperson über ein mit der Steuereinheit verbundenes Eingabegerät.

**[0009]** Ein Verfahren, bei dem die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung zum Einsatz kommen kann und das zur relativen Positionierung und Orientierung eines Laserbearbeitungskopfes zu einem Werkstück zur Bearbeitung eines Werkstückbereichs mit einem von dem Laserbearbeitungskopf abgegebenen Laserstrahl unter Verwendung einer Beobachtungseinrichtung zur Erzeugung einer Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs entlang einer mit der Orientierung des Laserbearbeitungskopfs gekoppelten Blickrichtung, dient, wobei die Beobachtungseinrichtung eine mit dem Laserbearbeitungskopf gekoppelte richtungsdefinierende Einrichtung aufweist, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen, die nicht parallel zu einem von dem Laserbearbeitungskopf abgegebenen Laserstrahl sind, definierbar sind, sieht vor, dass der Laserbearbeitungskopf und das Werkstück in Abhängigkeit von wenigstens einer der Bezugsrichtungen zugeordneten Steuereingaben einer Bedienperson relativ zueinander positioniert werden.

**[0010]** Der bei dem Verfahren verwendete und in der Vorrichtung enthaltene Laserbearbeitungskopf dient dazu, einen Laserstrahl auf einen zu bearbeitenden Werkstückbereich zu lenken. Obwohl der Laserbearbeitungskopf hierzu grundsätzlich einen Laser umfassen könnte, ist es bevorzugt, dass dem Laserbearbeitungskopf ein Laserstrahl über ein geeignetes Strahlführungssystem zugeführt wird. Hierbei kann es sich insbesondere um einen oder mehrere Lichtleiter handeln. Der Laserbearbeitungskopf kann hierzu zusätzlich oder alternativ Umlenkspiegel und bevorzugt eine fokussierende Einrichtung zur Fokussierung eines ihm zugeführten Laserstrahls auf den

zu bearbeitenden Werkstückbereich umfassen.

**[0011]** Die Beobachtungseinrichtung dient zur Erzeugung einer Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs entlang einer Blickrichtung. Unter Blickrichtung wird hierbei die für die Ansicht des Werkstückbereichs relevante Richtung verstanden, die in der Regel durch die Richtung der optischen Achse der Beobachtungseinrichtung im Bereich des Lichteintritts, d.h. in dem Bereich, in dem Licht von der Werkstückoberfläche in die Beobachtungseinrichtung eintritt, gegeben ist. Die Blickrichtung ist dabei mit der Orientierung des Laserbearbeitungskopfs gekoppelt, wodurch die eine relative Orientierung des Laserbearbeitungskopfs und damit eines Laserstrahls und einer Werkstückoberfläche zueinander ermöglicht wird. Die Kopplung kann dabei mechanisch erfolgen, beispielsweise durch physische Verbindung oder durch Nachführung.

**[0012]** Bei der Beobachtungseinrichtung kann es sich insbesondere um rein optische Einrichtungen wie beispielsweise Lupen oder Mikroskope handeln, es können jedoch auch optoelektronische Beobachtungseinrichtungen zum Einsatz kommen, beispielsweise eine Beobachtungseinrichtung mit einer Videokamera und einem entsprechenden Bildschirm, auf dem das von der Videokamera aufgenommene Bild darstellbar ist.

**[0013]** Die Beobachtungseinrichtung weist weiterhin eine richtungsdefinierende Einrichtung auf, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen, die nicht parallel zu einem von dem Laserbearbeitungskopf abgegebenen Laserstrahl sind, definierbar sind. Bei diesen richtungsdefinierenden Einrichtungen kann es sich um beliebige Einrichtungen handeln, mit denen in einer Ansicht bzw. einem Bild des zu bearbeitenden Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen definierbar sind. Bevorzugt ist die richtungsdefinierende Einrichtung so ausgebildet, dass die Bezugsrichtungen bewegbar, insbesondere drehbar sind.

**[0014]** Obwohl dies grundsätzlich nicht der Fall sein muss, sind die Bezugsrichtungen bevorzugt orthogonal zueinander.

**[0015]** Die Definition der Bezugsrichtungen kann dabei auf vielfältige Weise in Abhängigkeit von den richtungsdefinierenden Einrichtungen erfolgen. So sind beispielsweise nicht rotationssymmetrische Blenden im Strahlengang eines als Beobachtungseinrichtung verwendeten optischen Instruments geeignet, wenn sie so angeordnet sind, dass sie wenigstens näherungsweise als Feldblenden wirken, das heißt im Bild als gegebenenfalls nur unscharfe Begrenzungen sichtbar werden.

**[0016]** Weiter ist es möglich, in dem Strahlengang

optische Elemente mit Markierungen wie beispielsweise Fadenkreuzen anzubringen, die bei der Abbildung des zu bearbeitenden Werkstückbereichs im Bild erscheinen. Hierbei sind Fadenkreuze bevorzugt, da der Schnittpunkt der Linien gleichzeitig dazu benutzt werden kann, einen Laserstrahl im nicht-sichtbaren Bereich, typischerweise im Infrarotbereich, präzise zu führen, wenn das Kreuz auf diesem ausgerichtet ist. Sowohl die Blenden wie auch die Scheiben mit Markierungen können auch als Transmissions- oder Reflexions-LCD-Anzeigen ausgebildet sein, die zur Ausbildung der Blende bzw. der Markierungen entsprechend elektrisch angesteuert sind.

**[0017]** Bei Verwendung einer Videokamera bildet ein in der Videokamera enthaltener Flächensensor, beispielsweise ein CCD- oder ein CMOS-Flächensensor, bei der üblichen nicht rotationssymmetrischen, insbesondere matrixartigen Anordnung der Detektorelemente eine richtungsdefinierende Einrichtung. Auch hier kann durch entsprechende bildverarbeitende Maßnahmen eine Begrenzung des Bildes oder eine Überlagerung von Markierungen in das Bild erfolgen. Auch bei Verwendung einer Videokamera können natürlich grundsätzlich optische Blenden bzw. Scheiben mit Markierungen in der Videokamera als richtungsdefinierende Einrichtungen eingesetzt werden.

**[0018]** Grundsätzlich sind natürlich noch weitere Möglichkeiten der Markierung gegeben. So können etwa auch leuchtende Elemente, beispielsweise Leuchtdioden zur Definition von Bezugsrichtungen in der Ansicht eines Bildes verwendet werden.

**[0019]** Der Laserbearbeitungskopf und das zu bearbeitende Werkstück werden zur Bearbeitung eines Werkstücks mit der richtungsdefinierenden Einrichtung auf eine Anfangsposition in einer Anfangskopforientierung gemäß Eingaben einer Bedienperson oder von einer Steuereinrichtung relativ zueinander positioniert und orientiert. Zur Orientierung kann vorzugsweise der Laserbearbeitungskopf in einem vorgegebenen Raumwinkelbereich durch Drehungen und/oder Schwenkungen orientierbar sein. Hierdurch wird, gegebenenfalls nach einer Änderung der Bezugsrichtungen durch Veränderung der richtungsdefinierenden Einrichtung, eine Anfangsorientierung der Bezugsrichtungen festgelegt.

**[0020]** Unter einer Positionierung wird hierbei die Bewegung des Laserbearbeitungskopfs auf eine neue Position im Raum, d.h. ein reines Verfahren des Laserbearbeitungskopfes verstanden, während mit dem Begriff Orientierung eine Ausrichtung im Raum unabhängig vom Ort gemeint ist.

**[0021]** Erfindungsgemäß werden der Laserbearbeitungskopf und das Werkstück in Abhängigkeit von

wenigstens einer der Bezugsrichtungen zugeordneten Steuereingaben einer Bedienperson, d.h. Steuereingaben in Bezug auf die durch die richtungsdefinierende Einrichtung in der Ansicht des Werkstücks definierten Bezugsrichtungen, relativ zueinander positioniert, wodurch sie sich auf einer Kurve relativ zueinander bewegen. Diese Maßnahme ermöglicht es einer Bedienperson, sich an den Bezugsrichtungen orientierend Eingaben zur relativen Positionierung des Werkstücks und des Laserbearbeitungskopfs und damit des Laserstrahls vorzunehmen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn eine Bedienperson Richtungen nur in der in der Beobachtungseinrichtung sichtbaren Ansicht feststellen kann. Bei beliebigen Orientierungen des Laserbearbeitungskopfs, der Beobachtungseinrichtung und der Bezugsrichtungen relativ zu einem Werkstück sind somit einfache Eingaben in Bezug auf die in der Ansicht sichtbaren Bezugsrichtungen möglich, was die Positionierung bzw. das Verfahren des Laserbearbeitungskopfs extrem vereinfacht. Insbesondere kann die relative Orientierung des Laserbearbeitungskopfs zu dem Werkstück bzw. einem Werkstückträger oder -halter immer so gewählt werden, dass der Laserstrahl in einem günstigen Winkel auf den zu bearbeitenden Werkstückbereich orientierbar ist.

**[0022]** Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung weist hierzu die Positionierungseinrichtung zur relativen Positionierung des Laserbearbeitungskopfes und eines Werkstück zueinander auf, die eine Antriebseinrichtung zur Positionierung des Laserbearbeitungskopfs zur relativen Bewegung des Laserbearbeitungskopfes und eines Werkstücks aufweist, sowie die Steuereinheit zur Steuerung der Antriebseinrichtung in Abhängigkeit von Steuereingaben einer Bedienperson über ein mit der Steuereinheit verbundenes Eingabegerät. Das Eingabegerät sollte dabei die Trennung von den Bezugsrichtungen entsprechenden Bewegungsrichtungen erlauben.

**[0023]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt bei einfachem Aufbau eine Durchführung des hier angegebenen Verfahrens und damit eine einfache und genaue relative Positionierung eines Laserbearbeitungskopfes bzw. eines davon abgegebenen Laserstrahls und eines Werkstücks zueinander.

**[0024]** Die Bezugsrichtungen und die Blickrichtung müssen nicht unbedingt im Raum oder in Bezug auf ein zu bearbeitendes Werkstück konstant sein. Um die Eingabe von Steuereingaben zu erleichtern ist es jedoch bevorzugt, dass die Bezugsrichtungen bzw. deren Orientierungen während der Positionierungsbewegung konstant bleiben. Besonders bevorzugt wird zusätzlich auch noch die Blickrichtung konstant gehalten. Eine Bedienperson verfügt dann über ein festes Bezugssystem, bezüglich dessen sie Steuereingaben in ein Eingabegerät tätigen kann.

**[0025]** Bei dem Verfahren wird bevorzugt ein Laserbearbeitungskopf verwendet, der durch Drehung und/oder Schwenkung um mindestens eine Achse orientierbar ist, so dass der von dem Laserbearbeitungskopf abgegebene Laserstrahl besser auf eine Werkstückoberfläche richtbar ist. Besonders bevorzugt ist der Laserbearbeitungskopf durch Drehung und/oder Schwenkung um zwei nicht parallele Achsen, orientierbar, so dass er zumindest in einem Raumwinkelbereich beliebig orientierbar ist. Damit kann der Laserstrahl insbesondere senkrecht auf eine Werkstückoberfläche gelenkt werden.

**[0026]** Bevorzugt weist die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung eine Orientierungseinrichtung auf, mittels derer der Laserbearbeitungskopf und ein Werkstück durch Drehung und/oder Schwenkung um mindestens eine Achse, besonders bevorzugt zwei nicht parallele Achsen, relativ zueinander orientierbar sind. Laserbearbeitungskopf und Werkstück sind damit so zueinander orientierbar, dass sie wenigstens in einem vorgegebenen Winkelbereich in einer Ebene bzw. in einem Raumwinkelbereich beliebig zueinander orientierbar sind. Beispielsweise können hier Gelenkanordnungen mit zwei senkrecht zueinander ausgerichteten Gelenkachsen verwendet werden. Hiermit wird eine hohe Variabilität in der relativen Orientierung von Laserbearbeitungskopf und Werkstück erzielt, ohne dass die Steuerung der Positionierungsbewegung erschwert wird, insbesondere wenn die Bezugsrichtungen während der Bewegung konstant bleiben. Wird zur Orientierung das Werkstück gedreht, kann dazu ein entsprechender Werkstückträger oder -halter orientiert werden.

**[0027]** Zur Durchführung der Positionierung ist es bevorzugt, dass aus den Steuereingaben Koordinaten einer Positionierbewegung in einem den Bezugsrichtungen zugeordneten ersten Koordinatensystem ermittelt und in ein zweites Koordinatensystem transformiert werden, das einer zur relativen Positionierung des Werkstücks und des Laserbearbeitungskopfes zueinander verwendeten Positionierungseinrichtung zugeordnet ist, und dass zur Ausführung der Positionierbewegung der Positionierungseinrichtung die Koordinaten des zweiten Koordinatensystems zugeführt werden. Es können dann die häufig für Roboter als Positionierungsvorrichtungen bereits zur Verfügung stehenden Verfahren zur Positionierung auf der Basis von Koordinaten in dem robotereigenen Koordinatensystem verwendet werden, so dass eine Neuentwicklung von Positionierungsalgorithmen nicht mehr notwendig ist.

**[0028]** In der erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung ist dazu bevorzugt, dass die Steuerung eine Koordinatentransformationseinheit aufweist, mittels derer aus Steuereingaben von dem Eingabegerät Koordinaten einer Positionierbewegung in einem den Bezugsrichtungen zugeordneten

ersten Koordinatensystem ermittelbar und in ein zweites Koordinatensystem, das der Positionierungseinrichtung zugeordnet ist, transformierbar und der Positionierungseinrichtung zuführbar sind. Das erste und das zweite Koordinatensystem werden im Allgemeinen gegeneinander gedreht sein. Die Winkel können sich aus der relativen Anordnung der richtungsdefinierenden Einrichtung, die durch die Kopplung mit dem Laserbearbeitungskopf auch von dessen Lage abhängt, und dem der Antriebseinrichtung zugeordneten Koordinatensystem ergeben. Diese Winkel können zumindest indirekt durch die Stellung von Stellantrieben der Positionierungs- und gegebenenfalls einer Orientierungseinrichtung oder durch entsprechende Messwertgeber bestimmt werden.

**[0029]** Das der Antriebseinrichtung zugeordnete Koordinatensystem kann dabei insbesondere ein Koordinatensystem sein, in dem die Positionierungseinrichtung den Laserbearbeitungskopf oder das Werkstück bewegt. Häufig wird die Positionierungseinrichtung raumfest sein, und das zweite Koordinatensystem dementsprechend auch.

**[0030]** Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist es bevorzugt, dass die Beobachtungseinrichtung eine an dem Laserbearbeitungskopf gehaltene vergrößernde Optik umfasst, in deren Strahlengang eine richtungsdefinierende Einrichtung angeordnet ist. Hierbei kann es sich um eine entsprechend vergrößernde Videokamera mit einer richtungsdefinierenden Einrichtung, eine Großfeldlupe oder bevorzugt ein Mikroskop, besonders bevorzugt ein Stereomikroskop, mit dem ein räumliches Sehen möglich ist, handeln. Eine solche Beobachtungseinrichtung erlaubt eine besonders präzise Führung des Laserbearbeitungskopfs bzw. des Laserstrahls.

**[0031]** Weiter ist es bevorzugt, dass die optische Achse der Beobachtungseinrichtung im Bereich des Lichteintritts im Wesentlichen mit der Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf ausgehenden Laserstrahls übereinstimmt, wodurch die Führung des Laserstrahls wesentlich erleichtert wird, da die Blickrichtung gerade entlang der optischen Achse im Bereich des Lichteintritts in eine Beobachtungsrichtung verläuft.

**[0032]** Bei der Positionierungseinrichtung kann es sich um beliebige Einrichtungen handeln, mit denen der Laserbearbeitungskopf und/oder das Werkstück bewegbar sind. Wird das Werkstück bewegt, weist die Positionierungsvorrichtung hierzu einen Träger oder Halter für das Werkstück, beispielsweise einen Tisch oder Spannpratzen auf.

**[0033]** Besonders bevorzugt werden Positionierungseinrichtungen, die eine Positionierung in einem dreidimensionalen Arbeitsbereich ermöglichen. Vorzugsweise können Portalroboter eingesetzt werden,

die eine einfache und genaue Positionierung erlauben, wobei bei der Bewegung keine Drehungen auftreten. Besonders bevorzugt sind Roboter mit einem Schwenkarm, dessen Bewegung durch entsprechende Stellantriebe bewirkt wird. Vorzugsweise können Knickarmroboter verwendet werden, die auch an schwer zugänglichen Werkstückbereichen einsetzbar sind.

**[0034]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass das Werkstück positioniert wird. Der Laserbearbeitungskopf wird dabei relativ zu der Positionierungseinrichtung bzw. einem nicht bewegten Teil davon, d.h. häufig ortsfest, gehalten. Bevorzugt weist hierzu die Positionierungseinrichtung der Laserbearbeitungsvorrichtung einen durch die Antriebseinrichtung positionierbaren Werkstückträger oder -halter auf. Die Positionierungseinrichtung kann hierbei insbesondere durch einen bewegbaren Tisch oder Halter für ein Werkstück gegeben sein. Diese Ausführungsform eignet sich besonders für kleine, mit vertretbarem Aufwand noch zu handhabende Werkstücke. Vorzugsweise sind der Laserbearbeitungskopf und wenigstens ein mit diesem gekoppelter, bevorzugt verbundener, Teil der Beobachtungsvorrichtung, sowie die richtungsdefinierende Einrichtung um zwei Achsen dreh- und/oder schwenkbar, so dass der Laserstrahl und die Blickrichtung in günstiger Weise auf ein Werkstück richtbar sind. Das zweite Koordinatensystem ist in diesem Fall dem nicht mit dem Werkstück bewegten Teil der Positionierungseinrichtung fest zugeordnet. Die für die Transformation notwendigen Winkel können sich aus der Blickrichtung und Orientierung der richtungsdefinierenden Einrichtung bzw. genauer den Bezugsrichtungen und des dadurch definierten ersten Koordinatensystems zu dem zweiten Koordinatensystem ergeben.

**[0035]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform, die sowohl für kleine und insbesondere auch große Werkstücke geeignet ist, sieht vor, dass der Laserbearbeitungskopf positioniert wird. In der Laserbearbeitungsvorrichtung ist dazu bevorzugt der Laserbearbeitungskopf durch die Positionierungseinrichtung bewegbar. Die Bewegung des Laserbearbeitungskopfes ermöglicht insbesondere die Bearbeitung großer Werkstücke oder von schlecht zugänglichen Bereichen, beispielsweise in Öffnungen von Werkstücken, die bei festem Laserbearbeitungskopf nicht bearbeitbar wären. Das zweite Koordinatensystem ist in diesem Fall dem nicht mit dem Laserbearbeitungskopf bewegten Teil der Positionierungseinrichtung fest zugeordnet. In der Regel bedeutet dies, dass das zweite Koordinatensystem relativ zu dem Werkstück fest gewählt ist.

**[0036]** Ist die richtungsdefinierende Einrichtung fest mit dem Laserbearbeitungskopf verbunden, ist das Bezugssystem für die Eingaben einer Bedienperson ein fest mit dem Laserbearbeitungskopf verbundenes

erstes Koordinatensystem. Wird der Laserbearbeitungskopf in einem solchen Fall mit einem schwenkbaren Roboterarm bewegt, kann es jedoch bei einer geradlinigen Bewegung des Laserbearbeitungskopfes durch die Schwenkbewegung des Roboterarms zu einer Orientierungsänderung, das heißt einer Drehung, des Laserbearbeitungskopfes und der damit verbundenen richtungsdefinierenden Einrichtung kommen, die eine entsprechende Änderung der Bezugsrichtungen mit sich brächte, die wiederum die Steuerung der Bahn des Laserbearbeitungskopfes erschweren würden, da die Bedienperson nur schwer die Eingaben für verschiedene Bezugsrichtungen, beispielsweise über einen Steuerknüppel, mit dem sich drehenden Bezugssystem in der Ansicht koordinieren kann.

**[0037]** Zur Vermeidung dieses Effekts sind insbesondere zwei Ausführungsformen bevorzugt, die allein zur Unterscheidung und nicht als Einschränkung als "erste" und "zweite" Alternative bezeichnet werden.

**[0038]** Nach der ersten Alternative ist es bevorzugt, dass durch Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung die Bezugsrichtungen bewegbar sind, und dass während der Positionierung des Laserbearbeitungskopfes die richtungsdefinierende Einrichtung so bewegt/oder angesteuert wird, dass die Bezugsrichtungen während der Positionierbewegung des Laserbearbeitungskopfes konstant gehalten werden. Vorzugsweise sind die Bezugsrichtungen konstant in Bezug das Eingabegerät, das Werkstück oder eine Anfangsposition und Anfangsorientierung zu Beginn der Bewegung. Durch diese Maßnahme wird ein Bezugssystem zur Verfügung gestellt, das während der ganzen Bearbeitung konstant gehalten wird. Damit beziehen sich die Eingaben in das Eingabegerät immer auf die gleichen Bezugsrichtungen, was einer Bedienperson die Koordinierung der Eingaben mit der Ansicht wesentlich erleichtert. Insbesondere wird ein durch ein Schwenken des Laserbearbeitungskopfes bedingtes Drehen der Bezugsrichtungen kompensiert.

**[0039]** Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung der ersten Alternative ist es dazu bevorzugt, dass die Orientierungseinrichtung eine Antriebseinrichtung zur Orientierung des Laserbearbeitungskopfes durch Drehung und/oder Schwenkung um zwei nicht parallele Achsen umfasst, und die Positionierungseinrichtung und die Orientierungseinrichtung eine Positionierungs- und Orientierungseinrichtung bilden, dass durch Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung die Bezugsrichtungen bewegbar sind, und dass die Steuereinheit zur Bewegung und/oder Steuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung in Abhängigkeit von der auszuführenden oder der ausgeführten Positionierbewegung des Laserbearbeitungskopfes ausgebildet ist. Dazu sind mit der Steuerein-

heit Signale zur Steuerung der Antriebseinrichtungen bildbar, die letzterer zugeführt werden.

**[0040]** Die Kompensation kann dabei entsprechend einer auszuführenden Bewegung erfolgen. Dabei werden aus den Steuereingaben im Wesentlichen gleichzeitig die Ansteuerungen für die Positionierung und die Kompensation durch Orientierung des Laserbearbeitungskopfes und die richtungsdefinierende Einrichtung bestimmt.

**[0041]** Es kann jedoch auch eine Nachführung stattfinden, bei der nach einer in einem vorgegebenen kurzen Zeitintervall ausgeführten Bewegung eine ausgleichende Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung und/oder Nachorientierung des Laserbearbeitungskopfes stattfindet.

**[0042]** Die Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung kann dabei je nach Typ mechanisch durch Stellantriebe oder elektrisch erfolgen. Insbesondere bei Verwendung von LCD-Anzeigen kann durch Änderung der elektrischen Ansteuerung des Displays eine Änderung der Bezugsrichtungen bewirkt werden. Bei Blenden oder Scheiben mit Markierungen können beispielsweise die Scheiben selbst oder sie haltende Elemente durch Stellantriebe bewegt werden. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden die Anzeigen oder Stellantriebe durch die Steuereinheit angesteuert.

**[0043]** Weiterhin kann je nach Orientierung des Laserbearbeitungskopfes eine Bewegung der richtungsdefinierenden Einrichtung notwendig sein, um die Bezugsrichtungen konstant zu halten.

**[0044]** Bevorzugt wird während der Positionierbewegung durch Bewegung wenigstens eines die Blickrichtung bestimmenden Teils der Beobachtungseinrichtung die Blickrichtung konstant gehalten, so dass sich für eine Bedienperson eine Orientierung nicht nur in der durch die Bezugsrichtungen aufgespannten Ebene, sondern auch durch die Blickrichtung ergibt. Bei der Vorrichtung ist es dazu bevorzugt, dass wenigstens ein die Blickrichtung bestimmender Teil der Beobachtungseinrichtung eine feste Orientierung zu dem Laserbearbeitungskopf aufweist, und vorzugsweise mit diesem verbunden ist.

**[0045]** Bei dem hier angegebenen Verfahren ist es bevorzugt, dass zur Konstanthaltung der Blickrichtung und der Bezugsrichtungen durch Änderung der Orientierung des Laserbearbeitungskopfes wenigstens ein die Blickrichtung bestimmender Teil der Beobachtungseinrichtung und/oder die richtungsdefinierende Einrichtung bewegt und/oder durch Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung die Bezugsrichtungen relativ zu dem Laserbearbeitungskopf verändert werden. Durch diese Trennung wird es möglich, einen Teil der Kompensationsbewegung

unter Verwendung der Stellantriebe für die Orientierung des Laserbearbeitungskopfes vorzunehmen, dessen Orientierung mit der Blickrichtung und damit wenigstens ein die Blickrichtung bestimmenden Teil der Beobachtungseinrichtung sowie der richtungsdefinierenden Einrichtung gekoppelt ist.

**[0046]** Grundsätzlich wird vorteilhaft nur die richtungsdefinierende Einrichtung angesteuert, da so nur geringe Massen zu bewegen sind. Insbesondere bei Verwendung eines Stereomikroskops, bei dem sich die Binokulare zusammen mit den Bezugsrichtungen verändern würden, ist es besonders bevorzugt, dass die richtungsdefinierende Einrichtung mit einem relativ zu dem Laserbearbeitungskopf bewegbaren Teil der Beobachtungseinrichtung verbunden ist, und dass zur Konstanzhaltung der Bezugsrichtungen der Teil der Beobachtungseinrichtung durch Änderung der Orientierung des Laserbearbeitungskopfes und/oder durch Bewegung relativ zu dem Laserbearbeitungskopf bewegt wird.

**[0047]** Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es dazu bevorzugt, dass wenigstens ein Teil der Beobachtungseinrichtung in dem Laserbearbeitungskopf gehalten und von einem Antrieb relativ zu dem Laserbearbeitungskopf bewegbar, vorzugsweise drehbar, ist, und dass die richtungsdefinierende Einrichtung mit dem Teil der Beobachtungseinrichtung verbunden ist, so dass sie mit dem Teil der Beobachtungseinrichtung drehbar ist. Insbesondere kann, wie bei dem Verfahren, auch die ganze Beobachtungseinrichtung relativ zu dem Laserbearbeitungskopf bewegbar sein.

**[0048]** Ein solches Verfahren bzw. eine solche Vorrichtung ist besonders dann günstig, wenn vorgefertigte Beobachtungseinrichtungen in eine erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung integriert werden sollen, da dann keine Eingriffe in die Beobachtungseinrichtung selbst notwendig sind, sondern diese als mit einem Teil oder auch als Ganze nur durch Stellantriebe bewegbar sein müssen. Darüber hinaus wird bei der Verwendung von optischen Instrumenten mit Binokularen, die richtungsdefinierende Einrichtungen enthalten, wie zum Beispiel Stereomikroskopen die Orientierung der Binokulare konstant gehalten, so dass eine Bedienperson nicht einer möglichen Drehung der Binokulare folgen muss.

**[0049]** Hier bei ist es besonders vorteilhaft, dass eine Beobachtungseinrichtung verwendet wird, deren optische Achse im Bereich des Lichteintritts im Wesentlichen mit der Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf ausgehenden Laserstrahls übereinstimmt, dass als richtungsdefinierende Einrichtung ein im Strahlengang der Beobachtungseinrichtung angeordnetes durch einen ansteuerbaren Antrieb um die optische Achse der Beobachtungseinrichtung drehbares optisches Element mit einer für

eine Richtungsdefinition geeigneten Markierung und/oder Form verwendet wird, dass der Laserbearbeitungskopf unter Verwendung eines Schwenkarms positioniert wird und dass zur Konstanzhaltung der Bezugsrichtungen die richtungsdefinierende Einrichtung um die optische Achse gedreht und/oder der Laserbearbeitungskopf um eine zu der Schwenkachse des Schwenkarms geneigte, insbesondere dazu senkrechte Achse gedreht wird.

**[0050]** Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es dazu bevorzugt, dass die Positionierungs- und Orientierungseinrichtung einen Schwenkarm aufweist, an dem der Laserbearbeitungskopf gehalten ist, dass die richtungsdefinierende Einrichtung durch ihren Antrieb um eine optische Achse der Beobachtungseinrichtung drehbar ist, und dass der Laserbearbeitungskopf um eine zu der Schwenkachse des Schwenkarms geneigte, insbesondere dazu senkrechte Achse drehbar ist. Besonders bevorzugt wird ein Knickarmroboter als Positionierungs- und Orientierungseinrichtung verwendet, wobei dann die Achse, um die der gesamte Arm schwenkbar ist, als Schwenkachse des Schwenkarms anzusehen ist.

**[0051]** Diese Orientierung der Beobachtungseinrichtung ermöglicht insbesondere eine genaue Positionierung des Laserstrahls, wenn dessen Lage genau dem Zentrum des von der Beobachtungseinrichtung erzeugten Bildes liegt. Die richtungsdefinierende Einrichtung kann dabei irgendwo im Strahlengang der Beobachtungseinrichtung angeordnet sein, so dass diese insbesondere bei Beobachtungseinrichtungen, bei denen die optische Achse aufgrund der Verwendung reflektiver Elemente mehrere gegeneinander abgewinkelte Abschnitte hat, nicht unbedingt um eine Achse drehbar sein muss, die der Laserstrahlrichtung entspricht. Weiterhin kann auch hier die richtungsdefinierende Einrichtung allein oder zusammen mit wenigstens einem Teil der Beobachtungseinrichtung gedreht werden. Bevorzugt kann statt des mechanisch drehbaren optischen Elements auch, wie oben bereits beschrieben, ein elektrisch ansteuerbares LCD-Element verwendet werden, bei dem nur das für die Richtungsdefinition verwendete Muster gedreht wird. Die Vorrichtung nach dieser Weiterbildung der Erfindung zeichnet sich durch eine klare Trennung der Bewegungen und damit eine leichte Steuerbarkeit aus.

**[0052]** Bei einer anderen Ausführungsform des hier angegebenen Verfahrens, die eine zweite Alternative zu der ersten Alternative darstellt, werden die Bezugsrichtungen anders erzeugt und dementsprechend anders konstant gehalten. Dabei umfasst die Beobachtungseinrichtung ein Videosystem mit einer mit dem Laserbearbeitungskopf verbundenen Sensoreinheit, eine Bildverarbeitungseinrichtung zur Verarbeitung der von der Sensoreinheit erfassten Bilder und eine Bildausgabevorrichtung und bildet: eine

richtungsdefinierende Einrichtung, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei durch Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung bewegbare Bezugsrichtungen, die nicht parallel zu einem von dem Laserbearbeitungskopf abgegebenen Laserstrahl sind, definierbar sind. Bei der Positionierbewegung wird die Sensoreinheit so bewegt und/oder die richtungsdefinierende Einrichtung so angesteuert wird, dass die Bezugsrichtungen während der Positionierbewegung des Laserbearbeitungskopfes konstant gehalten werden.

**[0053]** Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung zeichnet sich dazu dadurch aus, dass die Beobachtungseinrichtung ein Videosystem mit einer mit dem Laserbearbeitungskopf gekoppelten Sensoreinheit zur Erfassung eines Werkstückbereichs, eine mit der Sensoreinheit verbundene Bildverarbeitungseinrichtung und eine mit der Bildverarbeitungseinrichtung verbundenen Bildausgabevorrichtung aufweist, die Orientierungseinrichtung eine Antriebseinrichtung zur Orientierung des Laserbearbeitungskopfs durch Drehung und/oder Schwenkung um zwei nicht parallele Achsen umfasst, und die Positionierungseinrichtung und die Orientierungseinrichtung eine Positionierungs- und Orientierungseinrichtung bilden, dass die Steuereinheit zur Bewegung der Sensoreinheit und/oder Steuerung der Bildverarbeitungseinrichtung in Abhängigkeit von der auszuführenden oder der ausgeführten Bewegung des Laserbearbeitungskopfes ausgebildet ist. Dazu sind mit der Steuereinheit Signale zur Steuerung der Antriebseinrichtungen bildbar, die letzterer zugeführt werden.

**[0054]** Für die im Vergleich zu dem Verfahren bzw. der Vorrichtung nach der ersten alternativen Ausführungsform nicht modifizierten Verfahrensschritte bzw. Vorrichtungsmerkmale gelten daher auch hier die gleichen Ausführungen entsprechend.

**[0055]** Im Unterschied zu der Beobachtungseinrichtung bei dem Verfahren bzw. der Vorrichtung nach der ersten Alternative weist die Beobachtungseinrichtung bei dem Verfahren bzw. der Vorrichtung nach der zweiten Alternative ein Videosystem auf, dessen Sensoreinheit, beispielsweise mit einem CCD- oder CMOS-Flächensensor, mit dem Laserbearbeitungskopf verbunden und damit nicht gegen diesen drehbar ist. Hierdurch werden Bezugsrichtungen allein schon durch die Lage des Bildes auf dem Bildschirm definiert, da die Sensoreinheit gewissermaßen als Beobachter mit dem Laserbearbeitungskopf mitbewegt wird. Insofern wirkt die gesamte Beobachtungseinrichtung als richtungsdefinierende Einrichtung. Der weitere Unterschied besteht darin, dass die Kompensation einer Drehung der Bezugsrichtungen durch eine Bewegung des Laserbearbeitungskopfes durch Bewegung der Sensoreinheit und/oder eine Ansteuerung in der richtungsdefinierenden Einrich-

tung erfolgt.

**[0056]** Dementsprechend ergeben sich die gleichen Vorteile wie bei dem Verfahren und der Vorrichtung nach der ersten alternativen Ausführungsform. Darüber hinaus kann durch die Verwendung einer Bildverarbeitung auf einen Stellantrieb verzichtet werden.

**[0057]** So wird bevorzugt während der Bewegung, soweit notwendig, durch Bewegung wenigstens eines die Blickrichtung bestimmenden Teils der Beobachtungseinrichtung die Blickrichtung konstant gehalten, so dass sich für eine Bedienperson eine Orientierung nicht nur in der durch die Bezugsrichtungen aufgespannten Ebene, sondern auch durch die Blickrichtung ergibt. Bei der Vorrichtung ist es dazu bevorzugt, dass wenigstens ein die Blickrichtung bestimmender Teil der Beobachtungseinrichtung eine feste Orientierung zu dem Laserbearbeitungskopf aufweist, und vorzugsweise mit diesem verbunden ist.

**[0058]** Weiter ist es bei dem hier angegebenen Verfahren nach der zweiten Alternative bevorzugt, dass zur Konstanthaltung der Bezugsrichtungen durch Änderung der Orientierung des Laserbearbeitungskopfes die Sensoreinheit bewegt und/oder das Bild in der Bildverarbeitungseinrichtung gedreht wird. Bei der erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung nach der zweiten Alternative sind daher die Steuereinheit und die Bildverarbeitungseinrichtung zur Signal bzw. Datenübermittlung miteinander verbunden und entsprechend ausgebildet. Dies kann beispielsweise durch entsprechende Programmierung von in solchen Einheiten vorhandenen Prozessoren erfolgen.

**[0059]** Besonders bevorzugt wird eine Beobachtungseinrichtung verwendet, deren optische Achse im Bereich des Lichteintritts im Wesentlichen mit der Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf ausgehenden Laserstrahls übereinstimmt, der Laserbearbeitungskopf unter Verwendung eines Schwenkarms positioniert und zur Konstanthaltung der Blickrichtung und der Bezugsrichtungen das Bild um eine der optischen Achse entsprechende Achse gedreht und/oder der Laserbearbeitungskopf um eine zu der Schwenkachse des Schwenkarms geneigte, insbesondere dazu senkrechte Achse gedreht. Diese Verfahrensvariante entspricht der für die erste Alternative schon geschilderten Verfahrensvariante mit dem Unterschied, dass nicht die richtungsdefinierende Einrichtung gedreht wird sondern hier nur das Bild um eine der optischen Achse entsprechende Achse gedreht wird. Dementsprechend ergeben sich auch die gleichen Vorteile wie oben.

**[0060]** Die folgenden bevorzugten Weiterbildungen und Ausführungsformen der Erfindung können sich auf alle Ausführungsformungen der Erfindung beziehen.

**[0061]** Bevorzugt umfasst die Laserbearbeitungsvorrichtung das Eingabegerät zur Eingabe von Steuereingaben in das Steuergerät.

**[0062]** Besonders bevorzugt umfasst das Eingabegerät einen Joystick. Vorzugsweise wird ein Joystick verwendet, mit dem über einen Steuerknüppel mit zwei Freiheitsgraden Bewegungen in den beiden Bezugsrichtungen steuerbar sind und vorzugsweise durch Bedienung eines weiteren Elements, beispielsweise eines Knopfes auf dem Steuerknüppel, eine Bewegung in einer zu den Bezugsrichtungen senkrechten Richtung, vorzugsweise in Blickrichtung, auslösbar ist.

**[0063]** Bevorzugt sind bei den erfindungsgemäßen Vorrichtungen das Eingabegerät und das Steuergerät so ausgebildet, dass der Laserbearbeitungskopf durch Eingaben in Bezug auf wenigstens eine der Bezugsrichtungen entlang einer Bearbeitungskurve mit unveränderter Blickrichtung der Beobachtungseinrichtung und unveränderten Bezugsrichtungen bewegbar ist.

**[0064]** Die Steuereinheit kann zur Verarbeitung der Eingaben und entsprechende Ansteuerung der Positionierungseinrichtung bzw. Positionierungs- und Orientierungseinrichtung einen Mikroprozessor, einen damit verbundenen Speicher und entsprechende Schnittstellen aufweisen, wobei der Mikroprozessor zur Steuerung bzw. genauen Regelung der Orientierung der Bezugsrichtungen programmiert ist.

**[0065]** Weiter ist es bevorzugt, dass aus den Steuereingaben eine Richtung und eine Geschwindigkeit einer auszuführenden Bewegung in Bezug auf ein den Bezugsrichtungen zugeordnetes Koordinatensystem ermittelt werden, und dass die Koordinaten dieser Richtung und Geschwindigkeit der auszuführenden Bewegung in Koordinaten in einem relativ zu der Anfangsposition und Anfangsorientierung des Laserbearbeitungskopfes zu Beginn der Bewegung unbewegtes Koordinatensystem transformiert und der Laserbearbeitungskopf entsprechend der transformierten Koordinaten für die Richtung und Geschwindigkeit positioniert wird.

**[0066]** Mit anderen Worten wird aus den Bezugsrichtungen, die eine Ebene aufspannen, ein dreidimensionales Koordinatensystem gebildet, in dem die Richtung und Geschwindigkeit einer auszuführenden Bewegung, die sich aus entsprechenden Signalen des Eingabegeräts ergibt, dargestellt werden. Daraufhin werden diese Koordinaten in ein in Bezug auf eine Anfangsposition und Kopforientierung festes Koordinatensystem, das beispielsweise ein mit der Laserbearbeitungsvorrichtung verbundenes Koordinatensystem sein kann, transformiert. Es können dann die häufig für Roboter bereits zur Verfügung stehenden Verfahren zur Positionierung verwendet

werden, so dass eine Neuentwicklung von Positionierungsalgorithmen nicht mehr notwendig ist. Grundsätzlich kann der Laserbearbeitungskopf vollständig entsprechend Eingaben einer Bedienperson bewegt werden.

**[0067]** Für bestimmte Anwendungen ist es bevorzugt, dass die Relativbewegung des Laserbearbeitungskopfes und eines Werkstücks entlang einer vorgegebenen Kurve, insbesondere einer Geraden, mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit und entlang einer nicht zu der Kurve tangentialen Richtung in Abhängigkeit von, insbesondere während der Werkstückbearbeitung erfolgenden, Steuereingaben einer Bedienperson in Bezug auf wenigstens eine der Bezugsrichtungen erfolgt. Bei den erfindungsgemäßen Vorrichtung ist dazu bevorzugt die Steuereinheit so ausgebildet, dass ein zu bearbeitendes Werkstück und der Laserbearbeitungskopf entlang einer ersten vorgegebenen Kurve automatisch mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit und wenigstens in einer nicht zu der Kurve tangentialen Richtung entsprechend, insbesondere während der Werkstückbearbeitung erfolgenden, Eingaben in das Eingabegerät relativ zueinander bewegbar sind. Dabei kann die vorbestimmte Geschwindigkeit insbesondere auch den Wert Null annehmen, wodurch eine Bewegung des Lagerachsekopfes bzw. des Laserstrahls entlang einer geraden Linie gewährleistet ist. Dies kann insbesondere beim Auftragsschweißen genutzt werden, wenn mehrere Schweißraupen nebeneinander gelegt werden sollen. Darüber hinaus eignet sich dieses Verfahren auch sehr gut dazu, systematisch beispielsweise beim Oberflächenhärten eine Fläche durch nebeneinander liegende gerade Bearbeitungsspuren abzudecken.

**[0068]** Zur Fokussierung des Laserstrahls auf das Werkstück wird häufig das Bild des Werkstücks in der mit dem Laserbearbeitungskopf verbundenen Beobachtungseinrichtung scharf eingestellt, wobei der Schärfentiefebereich der Beobachtungseinrichtung innerhalb des Fokusbereichs des Laserstrahls liegt. Dieses Verfahren erlaubt zwar eine sehr hohe Genauigkeit bei der Fokussierung, erfordert jedoch eine gewisse Aufmerksamkeit bei der Bedienperson und hinreichend ausgeprägte Konturen auf dem Werkstück. Es ist daher bevorzugt, dass der Abstand einer zur Bearbeitung verwendeten laserstrahlfokussierenden Optik des Laserbearbeitungskopfes von einem zu bearbeitenden Werkstück automatisch geregelt wird. Insbesondere kann die Regelung so ausgebildet sein, dass der Laserstrahl auf das Werkstück fokussiert wird. Dazu ist es bei den erfindungsgemäßen Vorrichtungen bevorzugt, dass der Laserbearbeitungskopf eine fokussierende Optik zur Fokussierung eines zur Bearbeitung dienenden Laserstrahls auf ein Werkstück umfasst und dass die Steuereinheit eine Regeleinrichtung umfasst, mit der der Abstand zwischen der fokussierenden Optik und einer

Werkstückoberfläche regelbar ist. Eine solche Regelung kann dabei rein mechanisch, beispielsweise durch einen Abstandshalter, der den Laserbearbeitungskopf gegen die Schwerkraft von der Werkstückoberfläche entfernt hält, oder durch eine elektronische Regelung der Positionierungs- bzw. Positionierungs- und Orientierungseinrichtung erfolgen.

**[0069]** Bei der Bearbeitung von Werkstücken in Kleinserien kann es erforderlich sein, dass der gleiche Bearbeitungsvorgang bei mehreren gleichen Werkstücken vorgenommen werden muss. Es ist daher bevorzugt, dass bei dem hier angegebenen Verfahren Daten erfasst und gespeichert werden, die die Positionen und Orientierungen des Laserbearbeitungskopfes und/oder eines Werkstückträgers oder -halters während der Bewegung beschreiben. In den erfindungsgemäßen Vorrichtungen ist es dazu bevorzugt, dass die Steuereinheit eine Speichereinrichtung aufweist und so ausgebildet ist, dass die Bewegungen des Laserbearbeitungskopfes und/oder eines Werkstückträgers oder -halters, bzw. diese beschreibende Daten, in der Speichereinrichtung speicherbar sind. Damit können Bewegungen des Laserbearbeitungskopfes und/oder eines Werkstückträgers oder -halters bei einem sogenannten "Teach-in"-Verfahren gelernt werden, so dass für andere gleich ausgebildete Werkstücke der Laserbearbeitungskopf und/oder der Werkstückträger oder -halter automatisch entlang der vorgegebenen Kurve geführt werden kann.

**[0070]** Weiter ist es bevorzugt, dass die Laserbearbeitungsvorrichtung Einrichtungen aufweist, mittels derer sie fahrbar ist. Besonders bevorzugt weist die Laserbearbeitungsvorrichtung ein Fahrwerk auf, mit dem zumindest die Positionierungseinrichtung fest verbunden ist. Die Einrichtungen bzw. das Fahrwerk können dabei besonders bevorzugt Raupen, Walzen, Räder und/oder Rollen, insbesondere auch Lenkrollen umfassen. Damit wird eine sehr flexibel handhabbare Laserbearbeitungsvorrichtung zur Verfügung gestellt, mit der auch große Werkstücke, die nicht einfach handzuhaben sind, bearbeitet werden können, indem die Laserbearbeitungsvorrichtung an die entsprechenden Bereiche des Werkstücks herangefahren wird und dort der Laserbearbeitungskopf mit der Positionierungs- und Orientierungseinrichtung an die zu bearbeitenden Stellen geführt wird. Darüber hinaus kann eine solche Laserbearbeitungsvorrichtung auch leicht zu mobilen Einsatzorten gefahren werden, so dass Unternehmen, die entsprechende Dienstleistungen anbieten, mit geringem Aufwand Laserbearbeitungen auch beim Kunden vornehmen können.

**[0071]** Besonders bevorzugt weist das Fahrwerk einen Antrieb, insbesondere einen fernsteuerbaren Antrieb auf, mit dem die Laserbearbeitungsvorrichtung bewegbar ist. Ein solcher Antrieb ermöglicht insbe-

sondere eine sehr genaue Positionierung der Laserbearbeitungsvorrichtung, auch wenn diese sehr schwer oder der Boden uneben ist, wodurch sich bei einer Bewegung von Hand Schwierigkeiten bei der Positionierung ergeben könnten.

**[0072]** Weiter ist es bei den erfindungsgemäßen Vorrichtungen bevorzugt, dass die Laserbearbeitungsvorrichtung, vorzugsweise die Positionierungs- bzw. Positionierungs- und Orientierungseinrichtung, einen Laser sowie Einrichtungen zur Übertragung des von dem Laser abgegebenen Laserstrahls an den Laserbearbeitungskopf aufweist. Bei diesen Einrichtungen zur Übertragung des Laserstrahls kann es sich insbesondere um einen oder mehrere Lichtleiter handeln. Besonders bevorzugt können jedoch optische Strahlführungssysteme verwendet werden, bei denen die Strahlführung, gegebenenfalls nach einer Aufweitung des Strahls, über reflektierende optische Elemente, beispielsweise Spiegel, geführt wird. Solche optischen Strahlführungssysteme haben den Vorteil, dass die übertragbare Pulsspitzenleistung nicht begrenzt ist, und die Strahlqualität, beispielsweise ausgedrückt durch das Strahlparameterprodukt, nicht verschlechtert wird.

**[0073]** Besonders bevorzugt weist die Positionierungs- und Orientierungseinrichtung einen schwenkbaren Arm, besonders bevorzugt einen Knickarm, auf, der den Laserbearbeitungskopf trägt, und in oder an dem der Laser angeordnet ist. Eine solche Laserbearbeitungsvorrichtung bildet eine autarke, kompakte Einheit, die insbesondere in Verbindung mit einem Fahrwerk, eine sehr flexibel einzusetzende Laserbearbeitungsvorrichtung darstellt. Durch die Anordnung des Lasers in dem Arm ist es möglich, auf Lichtwellenleiter zur Strahlführung zu verzichten und zur Strahlführung optische Strahlführungssysteme zu verwenden, die Kanäle innerhalb des Roboterarms und in dessen Gelenken sowie reflektive optische Elemente umfassen.

**[0074]** Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nun beispielhaft anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

**[0075]** [Fig. 1](#) eine mobile Laserbearbeitungsvorrichtung nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

**[0076]** [Fig. 2](#) eine vergrößerte teilweise geschnittene Ansicht einer Laserbearbeitungsvorrichtung der Laserbearbeitungsvorrichtung in [Fig. 1](#),

**[0077]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines Knickarms der Laserbearbeitungsvorrichtung in [Fig. 1](#),

**[0078]** [Fig. 4](#) eine schematische teilweise geschnittene Ansicht eines Laserbearbeitungskopfes und ei-

ner Beobachtungseinrichtung einer weiteren Laserbearbeitungsvorrichtung, und

[0079] **Fig. 5** eine schematische Ansicht einer Laserbearbeitungsvorrichtung nach einer weiteren Ausführungsform.

[0080] In **Fig. 1** umfasst eine mobile Laserbearbeitungsvorrichtung **10** ein Fahrwerk **12**, einen Knickarmroboter **14**, der einen Knickarm **16** sowie eine Antriebseinrichtung aufweist, die teilweise in einem Gehäuse **17** der Laserbearbeitungsvorrichtung und teilweise in dem Knickarm **16** angeordnete und daher in der **Fig. 1** nicht sichtbare Stellmotoren aufweist und daher in **Fig. 1** nur grob schematisch durch die Komponente **18** angedeutet ist, einen an dem Knickarm **16** angeordneten Laserbearbeitungskopf **20**, einen in einem Abschnitt **22** des Knickarms **16** angeordneten Laser **24**, eine Steuereinheit **26** zur Steuerung der Antriebseinrichtung sowie einen mit der Steuereinheit verbundenen Joystick **28** als Eingabegerät.

[0081] Das Fahrwerk **12** weist zwei Lenkrollen **30** und **30'** sowie zwei Räder auf, deren Drehachse parallel verläuft und von denen in der Figur nur das Rad **32** sichtbar ist. Die Lenkrollen **30** und **30'** sowie die Räder **32** sind an einem, in der Figur nicht separat gezeigten, Rahmen befestigt. Durch die Lenkrollen ist die mobile Laserbearbeitungsrichtung nicht nur leicht lenkbar, sondern praktisch auch auf der Stelle drehbar, so dass die Laserbearbeitungsvorrichtung auch bei sehr beengten Verhältnissen gut verfahrbar und positionierbar ist.

[0082] Der Rahmen des Fahrwerks trägt als Positionierungs- und Orientierungseinrichtung zur Positionierung und Orientierung des Laserbearbeitungskopfes **20** den Knickarmroboter **14**, der, in **Fig. 1** nur schematisch gezeigt, fest mit dem Rahmen bzw. dem Fahrwerk **12** verbunden ist. Der Arm **16** des Knickarmroboters **14** ist über ein Drehgelenk **34** mit der Antriebseinrichtung verbunden und damit als ganzer um eine senkrechte Achse schwenkbar. Auf dem Drehgelenk **34** sitzt ein Schwenkgelenk **36** über das der Knickarm **16** um eine horizontale Achse schwenkbar ist. Der Knickarm **16** weist weiterhin ein Knickgelenk **38** auf, über das der Abschnitt **22** des Knickarms **16** gegenüber dem Abschnitt zwischen den Gelenken **36** und **38** schwenkbar ist.

[0083] Der Laserbearbeitungskopf **20** ist über ein Schwenkgelenk **40** und ein Drehgelenk **42**, deren Schwenk- bzw. Drehachsen senkrecht zueinander angeordnet sind, mit dem Abschnitt **22** des Roboterarms verbunden.

[0084] Die Gelenke **34**, **36** und **38** erlauben eine beliebige Positionierung des Laserbearbeitungskopfes **20** in dem dreidimensionalen Arbeitsbereich des Knickarmroboters **14**.

[0085] Das Schwenkgelenk **40**, dessen Schwenkachse parallel zu der Schwenkachse des Gelenks **38** verläuft, und das Drehgelenk **42**, dessen Drehachse senkrecht zu der Schwenkachse des Schwenkgelenks **40** verläuft, erlauben eine nur durch den maximalen Schwenk- bzw. Drehwinkel beschränkte, aber sonst beliebige Orientierung, d.h. Neigung, des Laserbearbeitungskopfes **20** im Raum.

[0086] Die Bewegung des Knickarms **16** und des Laserbearbeitungskopfes **20** wird über die Antriebseinrichtung bewirkt, die wiederum von der Steuereinheit **26** angesteuert wird. Die Steuereinheit **26** ist mit dem Joystick **28** als Eingabegerät verbunden, über den eine Orientierungsbewegung und eine Positionierungsbewegung des Laserbearbeitungskopfes **20** steuerbar sind.

[0087] Die Steuereinheit **26** weist weiterhin einen in den Figuren nicht gezeigten Speicher auf, in dem Parameter zur Beschreibung einer Kurve speicherbar sind, entlang der der Laserbearbeitungskopf **20** automatisch von der Steuereinheit **26** führbar ist.

[0088] In dem Abschnitt **22** des Knickarms **16** ist der Laser **24** angeordnet, dessen Strahlung zur Bearbeitung eines Werkstücks verwendbar ist. Bei dem Laser **24** handelt es sich um einen Festkörperlaser, der zur Bearbeitung von Werkstücken geeignete Strahlung im Infrarotbereich emittiert.

[0089] Der Laser **24** bzw. ein von diesem abgegebener Laserstrahl bildet mit der Längsachse des Abschnitts **22** des Knickarms **16** einen spitzen Winkel, so dass die von dem Laser **24** emittierte Strahlung gegen die Längsachse versetzt in den Kanal des Schwenkgelenks eintreten kann.

[0090] Der Laser **24** weist noch ein in den Figuren nicht gezeigtes Teleskop zur Strahlaufweitung auf.

[0091] Die von dem Laser emittierte Strahlung wird über die Gelenke **40** und **42** dem Laserbearbeitungskopf **20** zugeführt, in dem sie dann auf einen zu bearbeitenden Werkstückbereich gelenkt wird. Dazu weisen die Gelenke **40** und **42** Kanäle zur Strahlführung auf, die jeweils einen entlang der Drehachsen der Gelenke **40** und **42** verlaufenden Abschnitt umfassen und von denen nur der Kanal **44** in **Fig. 2** gezeigt ist. Über zwei in den Kanälen angeordnete, in den Figuren nicht gezeigte Spiegel wird die von dem Laser **24** emittierte Strahlung in einer Richtung parallel zur Drehachse des Drehgelenks **42** gelenkt.

[0092] Der Laserbearbeitungskopf **20** dient dazu, die aus dem Kanal **44** des Drehgelenks **42** austretende Laserstrahlung auf ein Werkstück zu lenken, wozu er einen für Infrarotstrahlung reflektierenden, für sichtbares Licht jedoch transmittierenden und somit halbdurchlässigen Spiegel **46** aufweist, der gegen

die Drehachse des Drehgelenks **42** um  $45^\circ$  geneigt ist.

**[0093]** Der Laserbearbeitungskopf weist weiterhin eine Fokussierungsoptik **48** auf, die als achromatisches optisches System ausgebildet ist. Die umgelenkte Laserstrahlung wird durch die Fokussierungsoptik **48** fokussiert und als Laserstrahl **50** auf einen Werkstückbereich gelenkt.

**[0094]** Der Laserbearbeitungskopf **20** umfasst weiterhin als Beobachtungseinrichtung zur Beobachtung eines zu bearbeitenden Werkstückbereichs ein Stereomikroskop **52**, das durch ein Kopfteil **54** mit zwei Okularen **56** und **56'** und die Fokussierungsoptik **48** als Objektiv gebildet ist, so dass die optische Achse des Stereomikroskops **52** mit der Richtung des Laserstrahls hinter der Fokussierungsoptik **48** übereinstimmt. Der Schärfentiefebereich des Stereomikroskops **52** ist dabei so gewählt, dass er innerhalb des Fokusbereichs des Laserstrahls liegt, so dass der Laserstrahl auf eine Werkstückoberfläche fokussierbar ist, indem der durch das Stereomikroskop **52** beobachtete Werkstückbereich scharf gestellt wird.

**[0095]** Das Stereomikroskop **52** weist weiterhin an einem der Okulare **56** und **56'** als richtungsdefinierende Einrichtung ein Fadenkreuz auf, durch das zwei Bezugsrichtungen in der Ansicht des Werkstückbereichs definiert werden.

**[0096]** Der Kopfteil **54** des Stereomikroskops **52** ist um die optische Achse des Stereomikroskops **52** im Bereich der fokussierenden Einrichtung **48**, d.h. eine Längsachse des Laserbearbeitungskopfs **20** durch einen Stellantrieb **58** drehbar, der, in den Figuren nicht gezeigt, über ein Ritzel einen an dem Kopfteil **54** angebrachten Zahnkranz antreibt. Der Stellantrieb **58** wird von der Steuereinheit **26** angesteuert.

**[0097]** Die Positionierung des Laserbearbeitungskopfs **20** bei der Bearbeitung des Lasers erfolgt folgendermaßen:

Ein Benutzer gibt über den Joystick **28** mit Hilfe des Fadenkreuzes Eingaben in die Steuereinheit **26** ein. Dabei entspricht jeweils eine Achse des Fadenkreuzes und damit eine Bezugsrichtung einer Achse des Joysticks **28**. Eine zu den Bezugsrichtungen senkrechte Bewegung kann durch Betätigung eines Knopfs auf dem Steuerknüppel des Joysticks **28** angesteuert werden.

**[0098]** Erfindungsgemäß werden die Eingaben des Benutzers als Angabe einer vektoriellen Geschwindigkeit mit Betrag und Richtung in dem durch die Bezugsrichtungen definierten Koordinatensystem behandelt. Dieses Koordinatensystem ist in [Fig. 3](#) als  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem dargestellt und bewegt sich mit dem Laserbearbeitungskopf **20** und den Okularen **56** und **56'**. Die durch das Fadenkreuz

bestimmten Bezugsrichtungen sind dabei senkrecht zu der optischen Achse des Stereomikroskops **52** im Bereich der Fokussierungsoptik, die die Blickrichtung bestimmt.

**[0099]** Zur Positionierung des Laserbearbeitungskopfes **20** werden in der Steuereinheit Komponenten  $v_x^1$ ,  $v_y^1$  und  $v_z^1$  der vektoriellen Geschwindigkeit  $v$  in dem  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem in Koordinaten  $v_x$ ,  $v_y$  und  $v_z$  in dem mit der Laserbearbeitungsvorrichtung **10** und dem Knickarmroboter **14** fest verbundenen und diesem zugeordneten kartesischen X-, Y- und Z-Koordinatensystem, bzw. Roboterkoordinatensystem, umgerechnet. Auf der Basis dieser Koordinaten bewegt dann eine Robotersteuerung des Knickarmroboters **14** den Knickarm **16**.

**[0100]** Die Umrechnung erfolgt in an sich bekannter Weise auf der Basis der in [Fig. 3](#) gezeigten Winkel  $\varphi_1$  der Drehung um die Achse des Drehgelenks **34**, der Schwenkwinkel  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  und  $\alpha$  der Schwenkgelenke **36**, **38** und **40** sowie der Drehwinkel  $\beta$  des Drehgelenks **42** und des Drehwinkels  $\gamma$  des Kopfteils **54**, die alle aus Daten für die entsprechenden Stellmotoren erhältlich sind. Dabei können sich Vereinfachungen ergeben, wenn einige dieser Winkel mechanisch miteinander gekoppelt sind. Beispielsweise kann der Knickarm **16** so ausgebildet sein, dass der Winkel  $\alpha$ , wenn er sich auf das X-, Y- und Z-Koordinatensystem bezieht, unabhängig von Änderungen der Winkel  $\varphi_2$  und  $\varphi_3$  ist.

**[0101]** Im Beispiel erfolgt die Bestimmung der Winkel durch Eichung an einem in den Figuren nicht gezeigt Fadenkreuz auf einer Oberfläche des Gehäuses **17**, dessen Achsen parallel zu den Achsen des Roboterkoordinatensystems sind. Dazu wird nach der Inbetriebnahme der Laserbearbeitungsvorrichtung der Laserbearbeitungskopf mit den Okularen **56** und **56'** und damit dem Fadenkreuz so orientiert, dass das Fadenkreuz in der Ansicht das Fadenkreuz auf dem Gehäuse **17** überdeckt. Weiterhin wird die Orientierung der Blickrichtung und damit der Bezugsrichtungen zu der Fadenkreuzebene auf dem Gehäuse **17** so eingestellt, dass das Fadenkreuz auf dem Gehäuse in der ganzen Ebene scharf eingestellt ist. In dieser Position stimmen das durch das Fadenkreuz in der Ansicht bzw. die Bezugsrichtungen bestimmte  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem mit dem X-, Y- und Z-Koordinatensystem bis auf eine reine Verschiebung überein. Die zur Transformation notwendigen Winkel werden kann durch Aufintegration aller folgenden Orientierungsbewegungen des Laserbearbeitungskopfes **20** und der Okulare **56** bzw. **56'** und damit des Fadenkreuzes bestimmt.

**[0102]** Dazu wird verwendet, dass sich das  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem aus dem X-, Y- Z-Koordinatensystem zunächst durch Drehung des X-, Y- Z-Koordinatensystems um den aufintegrierten Win-

kel  $\varphi_1$  um die Z-Achse, dann eine Drehung um die durch diese Drehung gedrehte Y-Achse mit den aufintegrierten Winkeln  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  und  $\alpha$ , dann eine Drehung um die durch diese Drehungen erhaltene gedrehte X-Achse um den aufintegrierten Winkel  $\beta$ , und schließlich durch Drehung um die durch die bisherigen Drehungen erhaltene, gedrehte Z-Achse mit dem aufintegrierten Winkel  $\gamma$  ergibt. Anhand bekannter Transformationsformeln für die Einzeldrehung kann dann die Gesamttransformation erhalten werden.

**[0103]** Für eine geradlinige Bewegung entlang der Y-Achse wird der Knickarm **16** um das Drehgelenk **34** geschwenkt, so dass ohne die erfindungsgemäße Kompensation der Laserbearbeitungskopf **20** und das Stereomikroskop **52** bzw. dessen Kopfteil **54** mitgeschwenkt würde. Hierdurch würden die durch das Fadenkreuz definierten Bezugsrichtungen gedreht, was für eine Bedienperson verwirrend wäre, da diese nur die durch das Stereomikroskop **52** vermittelte Ansicht des Werkstücks mit den durch die Okulare definierten Bezugsrichtungen vor Augen hat und beispielsweise bei einer Drehung des Fadenkreuzes um  $45^\circ$  immer noch den Joystick in den Richtungen zu Beginn der Bearbeitung bewegen müsste.

**[0104]** Daher werden über den Stellantrieb **58** der Kopfteil **54** des Stereomikroskops **52** und damit die Okulare **56** und **56'** mit dem Fadenkreuz als richtungsdefinierende Einrichtungen relativ zu dem Laserbearbeitungskopf **20** so gedreht, dass die Bezugsrichtungen, hier in Bezug auf die Laserbearbeitungsvorrichtung bzw. das X-, Y- Z-Koordinatensystem konstant bleiben. Da im allgemeinen eine Drehung des Kopfteils **54** relativ zu dem Laserbearbeitungskopf **20** zur Kompensation der Drehung durch die Bewegung des Knickarms **16** nicht ausreicht, erfolgt gleichzeitig eine Drehung um das Drehgelenk **42** derart, dass insgesamt die Bezugsrichtungen und die Blickrichtung des Stereomikroskops, d.h. die Richtung des Laserstrahls während der Positionierbewegung relativ zu der Laserbearbeitungsvorrichtung **10** konstant bleiben.

**[0105]** Hierzu kann eine bekannte Robotersteuerung für einen Fünf-Arm-Roboter verwendet werden, die die Stellantriebe des Knickarms **16** mit den Gelenken **34**, **36**, **38**, **40** und **42** und den Stellantrieb **58** entsprechend einem Geschwindigkeitsvektor, der von der Steuereinheit **26** auf Eingaben über den Joystick **28** oder anderweitig bereitgestellt wird, und mit konstanter Orientierung der Bezugsrichtungen im X-, Y- und Z-Koordinatensystem ansteuert.

**[0106]** Mit anderen Worten werden bei einer Positionierungsbewegung des Laserbearbeitungskopf **20** der Laserbearbeitungskopf **20** so bewegt und das Kopfteil **54** so gegen den Laserbearbeitungskopf **20** gedreht, dass die Orientierung der Bezugsrichtungen

in Bezug auf die Laserbearbeitungsvorrichtung, bzw. das damit verbundene Koordinatensystem konstant bleibt.

**[0107]** Die Orientierung legt die Bedienperson zu Anfang einer Bearbeitung durch eine Anfangspositionierung und -orientierung des Laserbearbeitungskopfs **20** und gegebenenfalls eine weitere Drehung des Kopfteils **54** und damit des Fadenkreuzes fest.

**[0108]** Eine Bedienperson kann nun während eines Bearbeitungsvorgangs immer konstante Bezugsrichtungen verwenden, wodurch die Koordination der Joystickbewegung mit den Bezugsrichtungen extrem vereinfacht wird.

**[0109]** Zur Bearbeitung eines Werkstücks kann die mobile Laserbearbeitungsvorrichtung **10** dank des Fahrwerks leicht zu dem Werkstück hingefahren werden, wobei insbesondere die Lenkrollen **30** und **30'** eine leichte Positionierung der gesamten Laserbearbeitungsvorrichtung erlauben.

**[0110]** Die eigentliche Bearbeitung kann dabei in verschiedenen Betriebsarten erfolgen, zu deren Durchführung die Steuereinheit **26** entsprechend ausgebildet ist.

**[0111]** Bei einem ersten Betriebsmodus wird der Laserbearbeitungskopf entsprechend Steuereingaben des Benutzers über den Joystick **28** bewegt. Dabei entsprechen Auslenkungen des Joysticks **28** in dessen zwei Richtungen Bewegungen des Laserbearbeitungskopfs **20** entlang der Richtungen des in dem Stereomikroskop **52** sichtbaren Fadenkreuzes. Durch Druck auf den Steuerknüppel lassen sich auch Bewegungen senkrecht zu dem Fadenkreuz, d.h. in Blickrichtung des Stereomikroskops **52** durchführen.

**[0112]** In einem zweiten Bearbeitungsmodus positioniert der Benutzer den Laserbearbeitungskopf **20** zunächst in einer Anfangsposition und -orientierung. Die Steuervorrichtung **26** bewegt dann den Laserbearbeitungskopf **20** mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit entlang einer vorgegebenen Kurve, beispielsweise einer Geraden, wobei der Benutzer durch Eingaben über den Joystick **28** eine Bewegung des Laserbearbeitungskopfs in einer Richtung senkrecht zu der vorgegebenen Kurve bewirken kann. Zufällige Bewegungen des Joysticks **28** in Richtung der vorgegebenen Kurve werden nicht berücksichtigt. Die Einstellung der vorgegebenen Geschwindigkeit kann dabei über ein in denen Figuren nicht gezeigtes Eingabegerät erfolgen.

**[0113]** Bei diesen Betriebsmodi ist weiterhin jeweils eine Abspeicherung der bei der Bearbeitung verfolgten Kurve in Form von Parametern in dem Speicher der Steuereinheit **26** möglich ("teach-in").

**[0114]** Insgesamt ergibt sich damit ein stark vereinfachtes Laserbearbeitungsverfahren, bei dem keine hohen Anforderungen an die Koordination von Eingaben einer Bedienperson mit in die Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs eingeblendeten Bezugsrichtungen gestellt werden.

**[0115]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung werden im Unterschied zu dem ersten Ausführungsbeispiel Okulare verwendet, in denen LCD-Anzeigen zur Darstellung des Fadenkreuzes verwendet werden. Es wird dann nicht das Kopfteil **54** bewegt, sondern das LCD-Display analog zu dem Stellantrieb **58** so angesteuert, dass die Ausrichtung des Fadenkreuzes in der Ansicht konstant bleibt, wobei allerdings immer noch gegebenenfalls eine Drehung um das Drehgelenk **42** notwendig ist. Es kann daher auf den Stellantrieb **58** verzichtet werden.

**[0116]** In [Fig. 4](#) eine schematische teilweise geschnittene Ansicht eines Laserbearbeitungskopfes und einer Beobachtungseinrichtung einer Laserbearbeitungsvorrichtung nach einer dritten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gezeigt.

**[0117]** Diese Laserbearbeitungsvorrichtung unterscheidet sich von der zuerst beschriebenen Ausführungsform dadurch, dass als Beobachtungseinrichtung eine Videokamera verwendet wird. Die anderen Bestandteile bleiben unverändert, so dass für diese die Erläuterungen zu dem ersten Ausführungsbeispiel entsprechend gelten und die gleichen Bezugszeichen wie bei der ersten Ausführungsform verwendet werden.

**[0118]** Die Beobachtungseinrichtung wird bei dieser Laserbearbeitungsvorrichtung durch die Fokussierungsoptik **48**, eine fest mit dem Laserbearbeitungskopf **20** verbundene Videokamera **60** mit einem CCD-Flächensensor, eine mit der Videokamera **60** verbundene Bildverarbeitungseinrichtung **62** und einen Bildschirm **64** gebildet.

**[0119]** Die Videokamera **60** ist über der Fokussierungsoptik **48** so angeordnet, dass von dem Beobachtungsbereich ausgehendes Licht durch die Fokussierungsoptik **48** und den halbdurchlässigen Spiegel **46** in die Videokamera **60** gelangt. Der Fokus der durch die Fokussierungsoptik **48** und die Videokamera **60** gebildeten Optik liegt dabei wie bei der Laserbearbeitungsvorrichtung nach der ersten Ausführungsform innerhalb des Fokusbereichs eines von dem Laserbearbeitungskopf **20** abgegebenen Laserstrahls, um eine einfache Fokussierung zu ermöglichen.

**[0120]** Von der Videokamera **60** aufgenommene Bilder werden an die Bildverarbeitungseinrichtung **62** übertragen, die dazu eingerichtet ist, Bilder um eine der optischen Achse der durch die Fokussierungsoptik

**48** und die Videokamera **60** gebildeten Optik entsprechende Achse zu drehen. Die Bildverarbeitungseinrichtung **62** weist hierzu einen entsprechend programmierten Prozessor, vorzugsweise einen digitalen Signalprozessor, sowie einen zugehörigen Speicher auf.

**[0121]** Die Bildverarbeitungseinrichtung **62** ist mit der Steuereinheit **26** verbunden, von der Daten für den Drehwinkel für die Drehung des Bildes an die Bildverarbeitungseinrichtung **62** übertragbar sind.

**[0122]** Ein Ausgang der Bildverarbeitungseinrichtung ist weiterhin mit dem Bildschirm **64** verbunden, auf dem die von der Bildverarbeitungseinrichtung gedrehten Bilder angezeigt werden.

**[0123]** Eingaben einer Bedienperson erfolgen nun in Bezug auf die waagerechte und senkrechte Begrenzung des Bildschirms, so dass die gesamte Anordnung – Videokamera **60**, Bildverarbeitungseinrichtung **62** und Bildschirm **64** – eine richtungsdefinierende Einrichtung bildet.

**[0124]** Die Positionierung erfolgt wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel unter Verwendung der erfindungsgemäßen Transformation zwischen dem durch die Orientierung des CCD-Flächensensors bestimmten  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem und dem  $X$ -,  $Y$ -,  $Z$ -Koordinatensystem des Knickarmroboters **14**.

**[0125]** Zur Kompensation einer Drehung des Laserbearbeitungskopfes und damit des Sensorfeldes der Videokamera **60** wird nun analog zu dem ersten Ausführungsbeispiel neben einer Bewegung des Laserbearbeitungskopfes **20** um das Drehgelenk **42** das Bild um den Winkel gedreht, um den bei dem ersten Ausführungsbeispiel das Kopfteil **54** gedreht wird.

**[0126]** Eine Bedienperson erhält damit während der Bearbeitung eine unveränderte Ansicht des Werkstücks und kann einfach Steuereingaben mit der Ansicht koordinieren.

**[0127]** In [Fig. 5](#) ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung gezeigt, bei der nicht der Laserbearbeitungskopf, sondern das Werkstück bewegt wird. Für Komponenten, die wie entsprechende Komponenten in dem ersten Ausführungsbeispiel ausgebildet sind, gelten die gleichen Ausführungen wie oben und es werden die gleichen Bezugszeichen verwendet.

**[0128]** Die Vorrichtung weist einen nur sehr schematisch dargestellten Laserbearbeitungskopf **20**, eine Orientierungseinrichtung bildende Dreh- bzw. Schwenkgelenke **42** und **40** wie bei dem Laserbearbeitungskopf in [Fig. 2](#), einen Träger **66** mit einem Laser **24**, als Positionierungseinrichtung einen Werkstücktisch **68**, der über eine Antriebseinrichtung **70** bewegbar ist, eine Steuereinrichtung **72** und einen

Joystick **28** auf. Auf dem Tisch befindet sich ein Werkstück **74**.

**[0129]** Der Laserbearbeitungskopf **20** ist über das Drehgelenk **42** und das Schwenkgelenk **40** an dem ortsfesten Träger **66** gehalten. Über die Gelenke läßt er sich im Arbeitsbereich beliebig orientieren. Zur Bestimmung des Schwenk- bzw. Drehwinkel des Schwenk- bzw. Drehgelenks **40** bzw. **42** sind jeweils in [Fig. 5](#) nicht gezeigte Inkrementalwinkelgeber vorgesehen, die mit der Steuereinrichtung **72** verbunden sind.

**[0130]** In dem Träger **66** ist ein Laser **24** ähnlich wie in dem Abschnitt **22** des Knickarms **16** in dem ersten Ausführungsbeispiel angeordnet.

**[0131]** Der Laserbearbeitungskopf **20** erhält daher Laserlicht über die Gelenke **40** und **42** aus dem in dem Träger **66** angeordneten Laser **22** in der gleichen Art und Weise wie in dem ersten Ausführungsbeispiel.

**[0132]** Der Werkstücktisch **68** ist in drei Raumrichtungen mittels der ortsfesten Antriebseinrichtung **70** translatierbar, d.h. geradlinig bewegbar.

**[0133]** Die Steuereinrichtung **72** steuert die Antriebseinrichtung **70** in einem mit der Antriebseinrichtung **70** verbundenen raumfesten X-, Y-, Z-Koordinatensystem.

**[0134]** Dazu werden ihr Steuereingaben von dem Joystick **28** zugeführt, die als Steuereingaben in Bezug auf die in einem der Okulare **56** und **56'** dargestellten Fadenkreuz interpretiert werden. Genauer ist durch die Orientierung des Laserbearbeitungskopfs **20**, gegeben durch die Schwenk- bzw. Drehwinkel  $\alpha$  und  $\beta$  der Schwenk- bzw. Drehgelenke **40** und **42**, und die Stellung des Stereomikroskops **52** relativ zu dem Laserbearbeitungskopf **20**, gegeben durch einen Winkel  $\gamma$ , ein  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem bestimmt, das gegenüber dem X-, Y-, Z-Koordinatensystem gedreht ist. Steuereingaben des Joysticks **28** werden als Koordinaten für eine vektoriellen Positionierungsgeschwindigkeit in diesem Koordinatensystem behandelt.

**[0135]** Die Steuereinrichtung **72** weist eine Koordinatentransformationseinheit **76** auf, die die Koordinaten in dem  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem in Koordinaten in dem X-, Y-, Z-Koordinatensystem transformiert, die von der Steuereinrichtung **72** an die Antriebseinrichtung **70** ausgegeben werden.

**[0136]** Zur Benutzung bringt eine Bedienperson das Werkstück **74** auf den Werkstücktisch **70** und dreht bzw. schenkt den Laserbearbeitungskopf **20** und die Okulare **56** und **65'** mit dem Fadenkreuz in eine geeignete Orientierung, die dann während der Bearbei-

tung, insbesondere gegenüber dem Träger **66** und der Positionierungseinrichtung und der Antriebseinrichtung **70** konstant bleibt.

**[0137]** Zur Bearbeitung wird der Werkstücktisch **68** mit dem Werkstück **74** mittels des Joystick **28** relativ zu dem feststehenden Laserbearbeitungskopf **20** positioniert. Dazu werden die Eingaben in Bezug auf das  $X^1$ -,  $Y^1$ - und  $Z^1$ -Koordinatensystem in der Steuereinheit **72**, d.h. der Koordinatentransformationseinheit **76** in Koordinaten in dem X-, Y-, Z-Koordinatensystem transformiert, wozu die mit den Inkrementalwinkelgebern bestimmten und der Steuereinheit **72**, und insbesondere der Koordinatentransformationseinheit **76** zugeführten Winkel benutzt werden.

**[0138]** Die Bedienperson kann damit bei beliebiger Orientierung des Laserbearbeitungskopfs **20** Eingaben allein an dem Fadenkreuz orientieren und so das Werkstück **74** sehr einfach aber genau relativ zu dem Laserbearbeitungskopf **20** führen.

**[0139]** die Bearbeitungsmodi des ersten Ausführungsbeispiels sind hier entsprechend vorgesehen, es wird statt des Laserbearbeitungskopfs der Werkstücktisch **68** bewegt.

#### Bezugszeichenliste

<b>10</b>	mobile Laserbearbeitungsvorrichtung
<b>12</b>	Fahrwerk
<b>14</b>	Knickarmroboter
<b>16</b>	Knickarm
<b>17</b>	Gehäuse
<b>18</b>	Komponente der Antriebseinrichtung
<b>20</b>	Laserbearbeitungskopf
<b>22</b>	Abschnitt des Roboterarms
<b>24</b>	Laser
<b>26</b>	Steuereinheit
<b>28</b>	Joystick
<b>30, 30'</b>	Lenkrollen
<b>32</b>	Rad
<b>34</b>	Drehgelenk
<b>36</b>	Schwenkgelenk
<b>38</b>	Schwenkgelenk
<b>40</b>	Schwenkgelenk
<b>42</b>	Drehgelenk
<b>44</b>	Kanal
<b>46</b>	halbdurchlässiger Spiegel
<b>48</b>	Fokussierungsoptik
<b>50</b>	Laserstrahl
<b>52</b>	Stereomikroskop
<b>54</b>	Kopfteil
<b>56, 56'</b>	Okular
<b>58</b>	Stellantrieb
<b>60</b>	Videokamera
<b>62</b>	Bildverarbeitungseinrichtung

64	Bildschirm
66	Träger
68	Werkstücktisch
70	Antriebseinrichtung
72	Steuereinrichtung
74	Werkstück
76	Koordinatentransformationseinheit.

### Schutzansprüche

1. Laserbearbeitungsvorrichtung mit einem Laserbearbeitungskopf (20), mit dem ein Laserstrahl auf einen zu bearbeitenden Werkstückbereich lenkbar ist, einer Beobachtungseinrichtung (52) zur Erzeugung einer Ansicht des zu bearbeitenden Werkstückbereichs entlang einer mit der Orientierung des Laserbearbeitungskopf (20) gekoppelten Blickrichtung, die eine mit dem Laserbearbeitungskopf (20) gekoppelte richtungsdefinierende Einrichtung (56, 56') aufweist, mit der in der Ansicht des Werkstückbereichs zwei Bezugsrichtungen, die nicht parallel zur Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf (20) abgegebenen Laserstrahls sind, definierbar sind, einer Positionierungseinrichtung (14; 68, 70, 74) zur relativen Positionierung des Laserbearbeitungskopfes (20) und eines Werkstück (74) zueinander mit einer Antriebseinrichtung (18, 70), und einer Steuereinheit (26, 72) zur Steuerung der Antriebseinrichtung (18, 70) in Abhängigkeit von wenigstens einer der Bezugsrichtungen zugeordneten Steuereingaben einer Bedienperson über ein mit der Steuereinheit (26, 72) verbundenes Eingabegerät (28).

2. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Orientierungseinrichtung (40, 42), mittels derer der Laserbearbeitungskopf und ein Werkstück (74) durch Drehung und/oder Schwenkung um mindestens eine Achse, bevorzugt zwei nicht parallele Achsen, relativ zueinander orientierbar sind.

3. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung eine Koordinatentransformationseinheit (76) aufweist, mittels derer aus Steuereingaben von dem Eingabegerät (28) Koordinaten einer Positionierbewegung in einem den Bezugsrichtungen zugeordneten ersten Koordinatensystem ermittelbar und in ein zweites Koordinatensystem, das der Antriebseinrichtung (18, 70) zugeordnet ist, transformierbar und der Antriebseinrichtung (18, 70) zuführbar sind.

4. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungseinrichtung (52) eine mit dem Laserbearbeitungskopf (20) gekoppelte vergrößernde Optik (48, 56, 56') umfasst, in deren Strahlengang die richtungsdefinierende Einrichtung (56, 56') angeordnet

ist.

5. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Achse der Beobachtungseinrichtung (52) im Bereich des Lichteintritts im wesentlichen mit der Richtung eines von dem Laserbearbeitungskopf (20) ausgehenden Laserstrahls übereinstimmt.

6. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungseinrichtung (68, 70, 74) einen durch die Antriebseinrichtung (70) positionierbaren Werkstückträger oder -halter (68) aufweist.

7. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserbearbeitungskopf (20) durch die Positionierungseinrichtung (14) bewegbar ist.

8. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3 bis 7 in Verbindung mit 2, dadurch gekennzeichnet, die Orientierungseinrichtung (40, 42) eine Antriebseinrichtung zur Orientierung des Laserbearbeitungskopfes (20) durch Drehung und/oder Schwenkung um zwei nicht parallele Achsen umfasst, und die Positionierungseinrichtung und die Orientierungseinrichtung eine Positionierungs- und Orientierungseinrichtung (14) bilden, dass durch Ansteuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung (56, 56') die Bezugsrichtungen bewegbar sind, und dass die Steuereinheit (24) zur Bewegung und/oder Steuerung der richtungsdefinierenden Einrichtung (56, 56') in Abhängigkeit von der auszuführenden oder der ausgeführten Positionierbewegung des Laserbearbeitungskopfes (20) ausgebildet ist.

9. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, wenigstens ein Teil (54) der Beobachtungseinrichtung von dem Laserbearbeitungskopf (20) gehalten und von einem Antrieb (58) relativ zu dem Laserbearbeitungskopf (20) bewegbar ist, und dass die richtungsdefinierende Einrichtung (56, 56') mit dem Teil der Beobachtungseinrichtung (52) verbunden ist.

10. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungs- und Orientierungseinrichtung (14) einen Schwenkarm (16) aufweist, an dem der Laserbearbeitungskopf (20) gehalten ist, dass die richtungsdefinierende Einrichtung (56, 56') durch ihren Antrieb um eine optische Achse der Beobachtungseinrichtung (52) drehbar ist, und dass der Laserbearbeitungskopf (20) um eine zu der

Schwenkachse des Schwenkarms (**16**) geneigte, insbesondere dazu senkrechte, Achse drehbar ist.

11. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 7 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungseinrichtung (**52**) ein Videosystem (**54**) mit einer mit dem Laserbearbeitungskopf (**20**) gekoppelten Sensoreinheit zur Erfassung eines Werkstückbereichs, eine mit der Sensoreinheit verbundene Bildverarbeitungseinrichtung (**62**) und eine mit der Bildverarbeitungseinrichtung verbundenen Bildausgabevorrichtung (**64**) umfasst, die Orientierungseinrichtung eine Antriebseinrichtung zur Orientierung des Laserbearbeitungskopfs (**20**) durch Drehung und/oder Schwenkung um zwei nicht parallele Achsen umfasst, und die Positionierungseinrichtung und die Orientierungseinrichtung eine Positionierungs- und Orientierungseinrichtung bilden, dass die Steuereinheit (**24**) zur Bewegung der Sensoreinheit und/oder Steuerung der Bildverarbeitungseinrichtung (**62**) in Abhängigkeit von der auszuführenden oder der ausgeführten Bewegung des Laserbearbeitungskopfes (**20**) ausgebildet ist.

12. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Eingabegerät (**28**) und das Steuergerät (**26**, **72**) so ausgebildet sind, dass der Laserbearbeitungskopf (**20**) durch Eingaben in Bezug auf wenigstens eine der Bezugsrichtungen entlang einer Bearbeitungskurve mit unveränderter Blickrichtung der Beobachtungseinrichtung (**52**) und unveränderten Bezugsrichtungen bewegbar ist.

13. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (**26**, **72**) so ausgebildet ist, dass ein zu bearbeitendes Werkstück (**74**) und der Laserbearbeitungskopf (**20**) entlang einer ersten vorgegebenen Kurve automatisch mit einer vorgebbaren Geschwindigkeit und wenigstens in einer nicht zu der Kurve tangentialen Richtung entsprechend, insbesondere während der Werkstückbearbeitung erfolgenden, Eingaben in das Eingabegerät (**28**) relativ zueinander bewegbar sind.

14. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Eingabegerät (**28**) einen Joystick umfasst.

15. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserbearbeitungskopf (**20**) eine fokussierende Optik (**48**) zur Fokussierung einer zur Bearbeitung dienenden Laserstrahls aufweist, dass die Steuereinheit (**26**, **72**) eine Regeleinrichtung umfasst, mit der der Abstand zwischen der fokussierenden Optik (**48**) und einer Werkstückoberfläche regelbar ist.

16. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (**26**, **72**) eine Speichereinrichtung aufweist und so ausgebildet ist, dass Bewegungen des Laserbearbeitungskopfs (**20**) und/oder eines Werkstückträgers oder -halters (**68**) in der Speichereinrichtung speicherbar sind.

17. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, gekennzeichnet durch Einrichtungen (**12**), mittels derer die Laserbearbeitungsvorrichtung fahrbar ist.

18. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserbearbeitungsvorrichtung einen Laser (**24**) sowie Einrichtungen zur Übertragung des von dem Laser (**24**) abgegebenen Laserstrahls an den Laserbearbeitungskopf (**20**) aufweist.

19. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungseinrichtung (**14**) einen schwenkbaren Arm (**16**) umfasst, der den Laserbearbeitungskopf (**20**) trägt, und in oder an dem der Laser (**24**) angeordnet ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

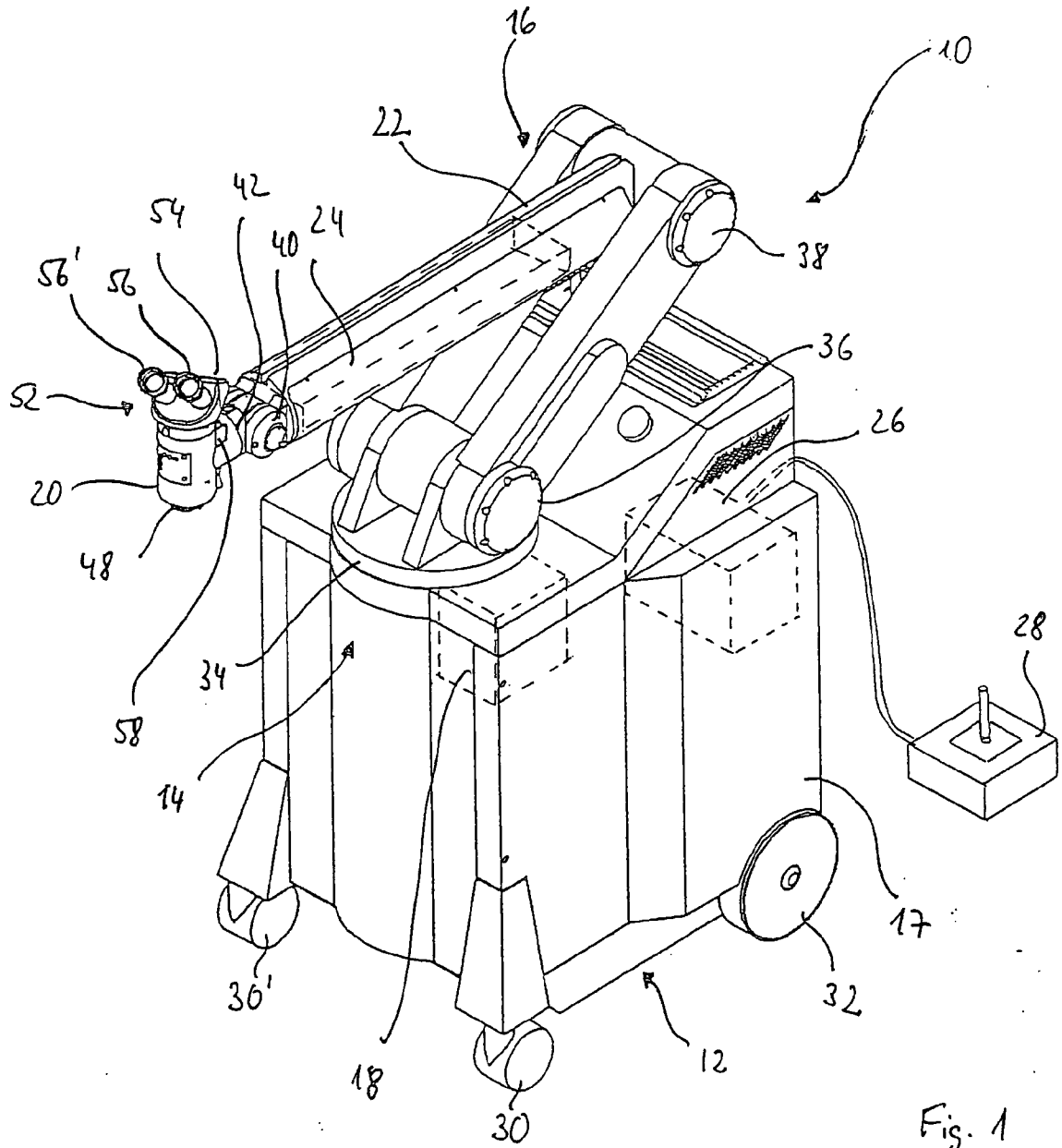


Fig. 1

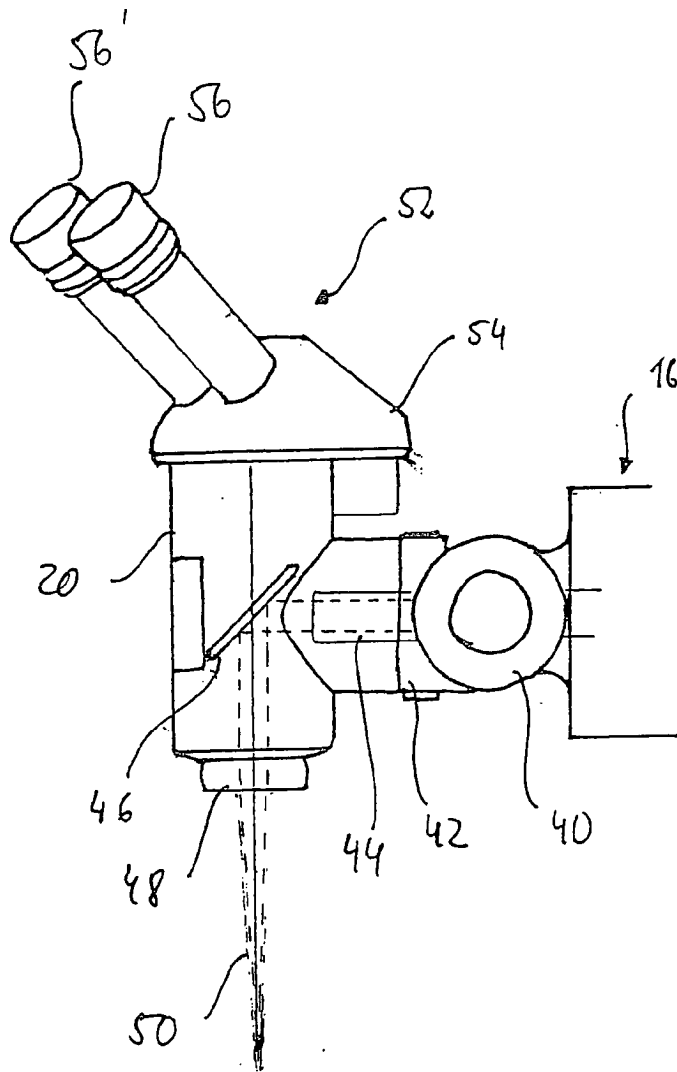


Fig. 2

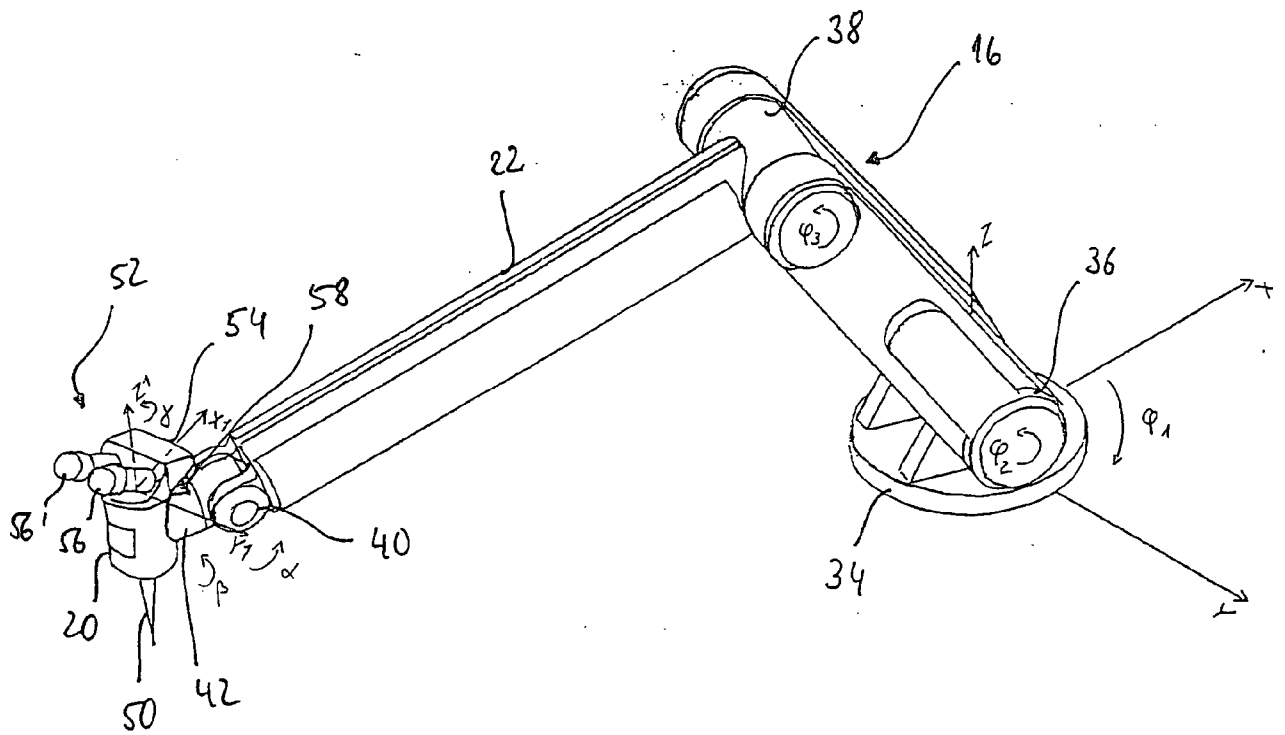


Fig. 3.

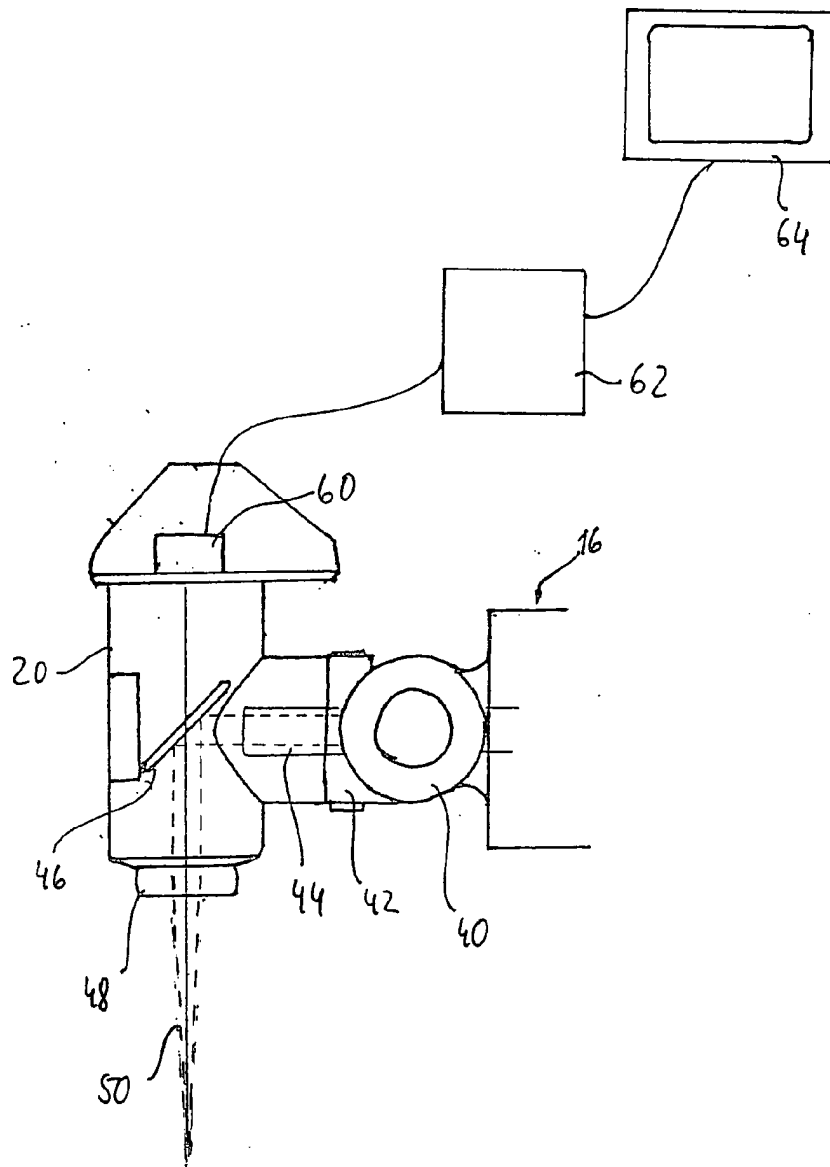


Fig. 4

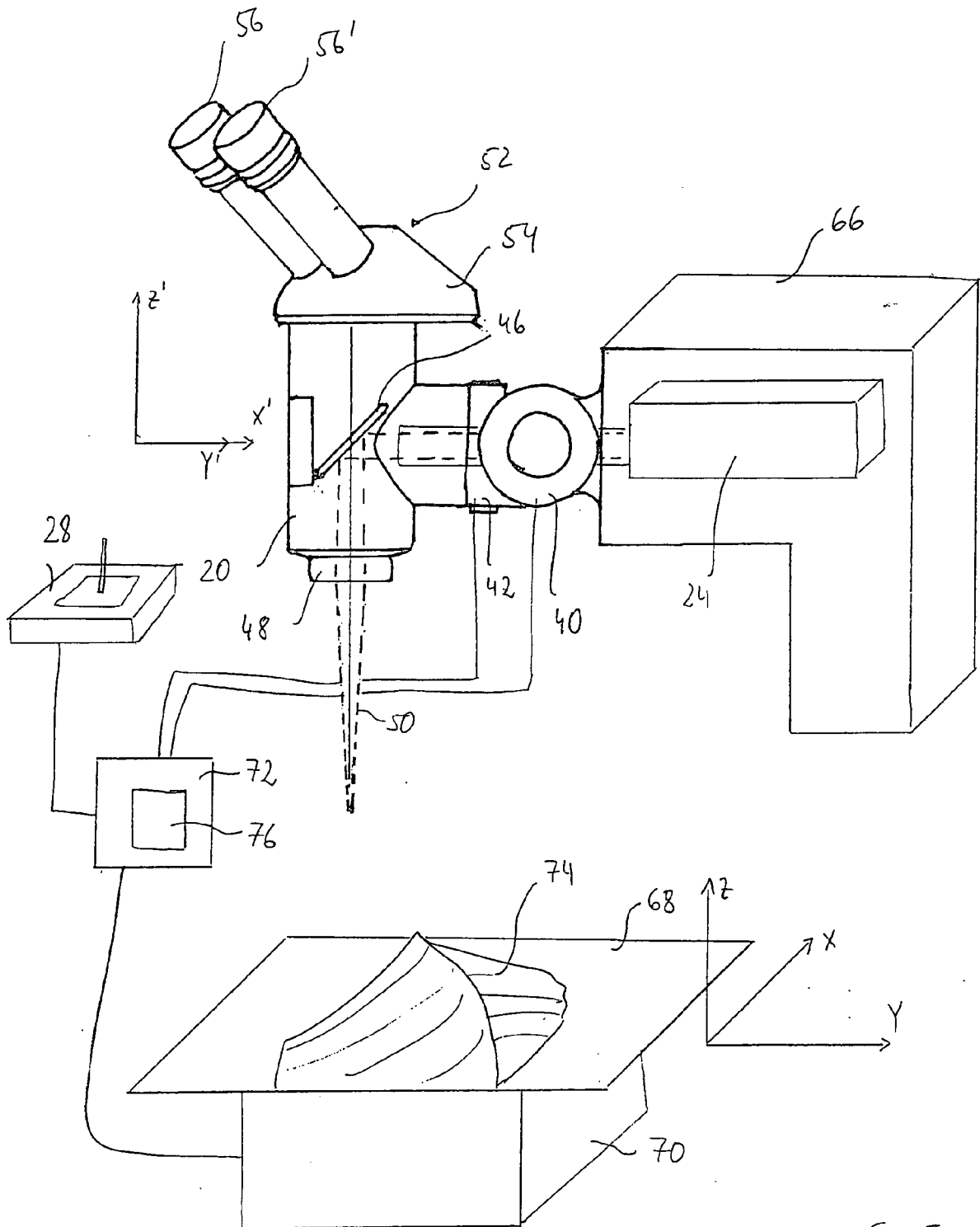


Fig. 5